



TUGAS AKHIR - RG 141536

**ANALISIS LAND SUBSIDENCE MENGGUNAKAN TEKNIK
DIFFERENTIAL INTERFEROMETRIC SYNTHETIC
APERTURE RADAR (DInSAR)
(Studi Kasus : Kota Surabaya, 2009-2011)**

AWALINA LUKMANA CITA RESMI
NRP 3512 100 051

Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Akbar Kurniawan S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - RG 141536

**ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* MENGGUNAKAN
TEKNIK *DIFFERENTIAL INTERFEROMETRIC
SYNTHETIC APERTURE RADAR (DInSAR)*
(Studi Kasus : Kota Surabaya, 2009-2011)**

AWALINA LUKMANA CITA RESMI
NRP 3512 100 051

Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Akbar Kurniawan, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut
Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

***ANALYSIS OF LAND SUBSIDENCE USING
DIFFERENTIAL INTERFEROMETRIC
SYNTHETIC APERTURE RADAR (DInSAR)
METHOD
(Case Study: Surabaya City, 2009-2011)***

AWALINA LUKMANA CITA RESMI
NRP 3512 100 051

Advisor

Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.

Akbar Kurniawan, S.T., M.T.

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

“Halamanini sengaja dikosongkan”

ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* MENGGUNAKAN
TEKNIK *DIFFERENTIAL INTERFEROMETRIC*
SYNTHETIC APERTURE RADAR (DInSAR)
(Studi Kasus: Kota Surabaya, 2009-2011)

Nama Mahasiswa : Awalina Lukmana Cita Resmi
NRP : 3512 100 051
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP – ITS
Pembimbing : Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Akbar Kurniawan, S.T., M.T.

ABSTRAK

Penggunaan air tanah yang berlebihan sebagai akibat dari pertumbuhan penduduk yang sangat pesat di kota Surabaya, telah menimbulkan efek negatif terhadap perkembangan aktivitas masyarakat setempat, salah satunya adalah penurunan muka tanah (land subsidence). Adanya proses dinamika bumi dan kondisi geologi kota Surabaya turut memicu terhadap laju kecepatan land subsidence. Terjadinya proses land subsidence ini juga menyebabkan semakin membesarnya daerah intrusi air laut di kota Surabaya.

Dalam penelitian ini digunakan teknik Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). DInSAR merupakan teknologi pencitraan radar yang menghasilkan citra interferogram, dimana citra interferogram digunakan untuk melakukan proses pemantauan terhadap laju pergerakan tanah dengan ketelitian sub-sentimeter. Dalam penelitian land subsidence kota Surabaya dilakukan proses pengolahan DInSAR dari tiga buah citra satelit ALOS PALSAR tahun 2009, 2010, dan 2011 menggunakan metode two-pass interferometric. Metode two-pass interferometric merupakan metode yang menggunakan dua buah citra SAR dan Digital Elevation Model (DEM).

Hasil processing menunjukkan terjadinya land subsidence selama 3 tahun (2009-2011) berdasarkan displacement Line of Sight (LOS) kota Surabaya berkisar antara 0 sampai -25 mm untuk Surabaya Utara, 0 sampai -25 mm di Surabaya Selatan, 0 sampai -100 mm di Surabaya Timur, 0 sampai -25 mm di Surabaya Barat, dan 0 sampai -25 mm di Surabaya Pusat, sehingga rata-rata besar nilai subsidence kota Surabaya sebesar 0 sampai -25 mm. Sedangkan rata-rata laju subsidence di kota Surabaya antara tahun 2009-2011 berkisar antara -5 mm/tahun. Namun dalam pengolahan masih menunjukkan error displacement, dikarenakan nilai koherensi antar citra yang rendah, noise, distorsi geometrik dari sinyal radar dan besar baseline pada pasangan citra. Untuk itu diperlukan analisa dengan membandingkan beberapa penelitian yang terkait subsidence di kota Surabaya.

Kata Kunci : Land Subsidence, ALOS PALSAR, DInSAR, air tanah.

**ANALYSIS OF LAND SUBSIDENCE USING
DIFFERENTIAL INTERFEROMETRIC SYNTHETIC
APERTURE RADAR (DInSAR) METHOD
(Case Study: Surabaya City, 2009-2011)**

Name : Awalina Lukmana Cita Resmi
NRP : 3511 100 051
Department : Teknik Geomatika FTSP – ITS
Advisor : Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Akbar Kurniawan, S.T., M.T.

ABSTRACT

The use of excessive ground water as a result of rapid population growth in the Surabaya city can trigger surface deformations on the affected area, one of which is land subsidence. The presence of the dynamic processes of the Earth and geological conditions of the Surabaya city, also can the speed rate of land subsidence. The process of land subsidence also cause the enlargement area of sea water intrusion in the Surabaya city.

In this research, the technique of Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) is used to infer the surface deformation in the Surabaya city . DInSAR is a radar imaging technology that produces the interferogram image, that the result can be used to monitor the rate of soil movement with sub-centimeter accuracy. The DInSAR processing utilized three PALSAR ALOS satellite images from 2009, 2010, and 2011 using two-pass interferometric. Two-pass interferometric method is a method that uses two SAR imagery and Digital Elevation Model (DEM).

The results indicate the occurrence of land subsidence based on the displacement Line of Sight (LOS) Surabaya city. The values are ranged from 0 to -25 mm for North Surabaya, 0 to -25

mm in South Surabaya, 0 to -100 mm in East Surabaya, 0 to -25 mm in West Surabaya, and 0 to -25 mm in Surabaya Center. As such, the average subsidence in Surabaya city has a value between 0 and -25 mm. While average velocity subsidence in Surabaya city has value -5 mm/year. However, the result still contain an error from the processing of displacement, due to the value of coherence between the image, noise, geometric distortion of a radar signal and large baseline on image pair.

Keywords: Land Subsidence, ALOS PALSAR, DInSAR, ground water.

ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* MENGGUNAKAN

ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* MENGGUNAKAN TEKNIK *DIFFERENTIAL INTERFEROMETRIC* *SYNTHETIC APERTURE RADAR (DInSAR)* (Studi Kasus : Kota Surabaya, 2009-2011)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AWALINA LUKMANA CITA RESMI
NRP. 3512100051

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
NIP. 19781231 200212 2 001

Akbar Kurniawan, S.T., M.T.
NIP. 19860518 201212 1 002



SURABAYA, JUNI 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT karena atas ridho dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis *Land Subsidence* Menggunakan Teknik *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*, (Studi Kasus : Kota Surabaya, 2009-2011)**” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dengan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini hingga selesai dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Mokhammad Nur Cahyadi, ST., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
2. Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis dari Jurusan Teknik Geomatika-ITS,
3. Akbar Kurniawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing penulis dari Jurusan Teknik Geomatika-ITS.
4. Dr. Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc selaku dosen wali penulis dari Jurusan Teknik Geomatika-ITS.
5. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Geomatika ITS yang turut membantu dalam memudahkan dan melancarkan segala aktivitas di kampus perjuangan ini.
6. Bapak dan Ibu tercinta, Alm. Imam Towo dan Marsi terima kasih atas segala doa, dukungan, restu, dan semangat yang sudah diberikan selama ini.

7. Kelurga Surabaya, Bibi Rohningsih sekeluarga yang sudah mendukung dan mengisi hari-hari bersama selama 4 tahun kuliah di Teknik Geomatika, ITS.
8. Bapak Mustaqin serta semua Pegawai di BAPPEKO, Surabaya atas penerimaan, bimbingan, kesediaan data, dan waktunya.
9. Bu Filsa Bioresita S.T., M.Sc., Kakak Ana Rizka Sari (G12) dan Kakak Sendy Ayu Yulyta (G13), yang memberikan motivasi dan bimbingan terkait *SAR*, *InSAR*, *GMTSAR*.
10. Teman-teman satu angkatan Geomatika-ITS 2012 yang selalu memberikan inspirasi, motivasi dan kenangan selama menjalani perkuliahan.
11. Teman-teman laboratorium Geodinamika dan Lingkungan yang telah membantu serta bertukar informasi tentang penelitian dan tugas akhir ini.
12. Seluruh warga HIMAGE-ITS atas semangat kekeluargaan selama ini.
13. Pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis.

Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis untuk penyempurnaan penelitian ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk semua pihak, khususnya untuk mahasiswa Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Abstrak	v
Abstract	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR SIMBOL	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Permasalahan.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Bentang Alam Kota Surabaya.....	5
2.1.1 Topografi	5
2.1.2 Faktor Geologi.....	5
2.1.3 Faktor Geohidrologi	8
2.2 <i>Land Subsidence</i>	9
2.3 RADAR (<i>Radio Detection and Ranging</i>)	11
2.3.1 Geometri Pencitraan Radar.....	13
2.3.2 Distorsi Pencitraan Radar	14
2.4 SAR.....	16
2.5 InSAR	17
2.6 <i>Interferogram</i>	19
2.6.1 Koregistrasi Citra SAR.....	20
2.6.2 Koherensi Citra SAR.....	21
2.6.3 Faktor Koherensi	21
2.7 <i>DInSAR</i>	22
2.8 <i>Digital Elevation Model (DEM)</i>	24

2.9	<i>ALOS PALSAR</i>	25
2.10	Penelitian Terdahulu	27
2.11	Penelitian <i>Land Subsidence</i> Menggunakan Metode <i>DInSAR</i>	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	Lokasi Penelitian.....	29
3.2	Data dan Peralatan	30
3.2.1	Data	30
3.2.2	Peralatan	30
3.3	Metodologi Penelitian	31
3.3.1	Tahapan Penelitian.....	31
3.3.2	Tahap Umum Pengolahan <i>SAR</i>	33
3.3.3	Pengolahan <i>SAR</i> dengan <i>GMTSAR</i>	39
3.3.4	Tahap Pengolahan Citra dengan <i>GMTSAR</i>	41
BAB IV HASIL DAN ANALISA		47
4.1	Hasil Pengolahan Data <i>SAR</i>	47
4.1.1	Panjang <i>Baseline</i> dan Interval Waktu	47
4.1.2	<i>Interferogram Phase</i> dan <i>Amplitude</i>	48
4.1.3	Koherensi Citra <i>SAR</i>	49
4.1.4	Citra <i>Interferogram</i> Setelah <i>Filtering</i>	50
4.1.5	Citra <i>Interferogram</i> Setelah <i>Unwrapping</i>	52
4.1.6	<i>Interferogram</i> Setelah <i>Geocode</i>	52
4.2	Analisa Hasil Pengolahan <i>DInSAR</i>	55
4.2.1	<i>Fringes</i> pada <i>Interferogram</i>	55
4.2.2	Faktor Geometri Daerah Pencitraan.....	55
4.2.3	Estimasi <i>Baseline</i> dan Jarak Temporal	56
4.2.4	Nilai Koherensi	57
4.2.5	Nilai <i>Phase Unwrap</i>	59
4.3	Analisa Besar <i>Land Subsidence</i> Area Studi	60
4.3.1	Analisa Besar <i>Land Subsidence</i> Tahun 2009- 2010	60
4.3.2	Analisa Besar <i>Land Subsidence</i> Tahun 2009- 2011	64
4.3.3	Analisa Perbandingan Besar <i>Land Subsidence</i>	67

4.4	Validasi Besar <i>Land Subsidence</i> Menggunakan Hasil Data Pengukuran GPS	69
4.5	Analisa Berdasarkan Kondisi Geologis	75
4.6	Analisa Berdasarkan Titik Air Bawah Tanah	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		81
5.1	Kesimpulan	81
5.2	Saran	81
DAFTAR PUSTAKA		83
LAMPIRAN		
BIOGRAFI PENULIS		

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta Geologi Kota Surabaya	6
Gambar 2.2	Peta Hidrogeologi Kota Surabaya	8
Gambar 2.3	<i>Land Subsidence</i>	10
Gambar 2.4	Prinsip Kerja RADAR.....	11
Gambar 2.5	Geometri Pencitraan Radar	13
Gambar 2.6	<i>Foreshortening</i>	14
Gambar 2.7	<i>Shadow</i>	15
Gambar 2.8	<i>Layover</i>	15
Gambar 2.9	<i>Azimuth dan Range</i>	16
Gambar 2.10	Geometri <i>InSAR</i>	18
Gambar 2.11	Citra <i>Interferogram</i> Pasangan Data <i>SAR SLC</i> ..	19
Gambar 2.12	<i>DEM SRTM</i> 30 Meter.....	25
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian Kota Surabaya	29
Gambar 3.2	Diagram Alir Tahap Penelitian (2016).....	32
Gambar 3.3	Diagram Alir Pengolahan Data <i>SAR</i> (2016).....	35
Gambar 3.4	Diagram Alir Pengolahan <i>GMTSAR</i> (2016).....	41
Gambar 3.5	<i>DEM SRTM</i> Berkoordinat Geografis	44
Gambar 3.6	<i>Interferogram Phase</i> (a) Sebelum <i>Filtering</i> dan (b) Setelah <i>Filtering</i>	45
Gambar 4.1	Citra <i>Interferogram</i> Kota Surabaya (a) <i>Phase</i> Pasangan Citra 2009-2010, (b) <i>Amplitude</i> Pasangan Citra 2009-2010, (c) <i>Phase</i> Pasangan Citra 2009-2011, (d) <i>Amplitude</i> Pasangan Citra 2009-2011	49
Gambar 4.2	<i>Interferogram</i> Citra Koherensi (a) Pasangan Citra 2009-2010, (b) Pasangan Citra 2009- 2011.....	49
Gambar 4.3	Pasangan Citra 2009-2010 (a) <i>Interferogram</i> Sebelum <i>Filtering</i> , (b) <i>Interferogram</i> Setelah	

	<i>Filtering</i> ; Pasangan Citra 2009-2011 (c)	
	<i>Interferogram</i> Sebelum <i>Filtering</i> , (d)	
	<i>Interferogram</i> Setelah <i>Filtering</i>	51
Gambar 4.4	<i>Interferogram</i> Setelah <i>Unwrap</i> (a) Pasangan Citra 2009-2010, (b) Pasangan Citra 2009-2011	52
Gambar 4.5	Citra <i>SAR</i> yang Ber- <i>Georeference</i> Pasangan Citra 2009-2010 (a) <i>Amplitude</i> , (b) <i>Phase</i> Setelah <i>Filtering</i> dan <i>Masking</i> , (c) Koherensi, (d) <i>Phase</i> Setelah <i>Unwrap</i> (<i>LOS</i>).....	53
Gambar 4.6	Citra <i>SAR</i> yang Ber- <i>Georeference</i> Pasangan Citra 2009-2011 (a) <i>Amplitude</i> , (b) <i>Phase</i> Setelah <i>Filtering</i> dan <i>Masking</i> , (c) Koherensi, (d) <i>Phase</i> Setelah <i>Unwrap</i> (<i>LOS</i>).....	54
Gambar 4.7	Nilai <i>Phase Unwrap</i> yang Kosong.....	56
Gambar 4.8	Grafik Koherensi Pasangan Citra 2009-2010...	58
Gambar 4.9	Grafik Koherensi Pasangan Citra 2009-2011 ..	58
Gambar 4.10	Peta <i>Cross Section</i> Pasangan Citra 2009-2010.	61
Gambar 4.11	Grafik <i>Cross Section</i> Pasangan Citra 2009-2010	62
Gambar 4.12	Peta <i>Cross Section</i> Pasangan Citra 2009-2011.	65
Gambar 4.13	Grafik <i>Cross Section</i> Pasangan Citra 2009-2011	66
Gambar 4.14	Grafik Elevasi Pengukuran <i>GPS</i> Tahun 2009 ..	70
Gambar 4.15	Grafik Elevasi Pengukuran <i>GPS</i> Tahun 2011 ..	71
Gambar 4.16	Peta Sebaran Titik <i>GPS</i>	72
Gambar 4.17	Grafik Perbandingan Beda Tinggi antara Pengukuran <i>GPS</i> dan Pengamatan <i>DInSAR</i>	73
Gambar 4.18	Peta Sebaran Titik Air Bawah Tanah	77
Gambar 4.19	Grafik Perbandingan Kecepatan <i>Subsidence</i> Terhadap Penggunaan Air Bawah Tanah.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis Tanah Kota Surabaya.....	7
Tabel 2.2	Panjang Gelombang Radar dan Frekuensi yang Digunakan dalam Penginderaan Jauh	12
Tabel 2.3	Aplikasi-Aplikasi Gelombang Radar	12
Tabel 2.4	Hasil Penelitian <i>Land Subsidence</i> di Kota Surabaya Menggunakan <i>GPS</i>	27
Tabel 3.1	Data <i>ALOS PALSAR</i>	30
Tabel 3.2	<i>File Driver GMT5SAR</i>	40
Tabel 4.1	<i>Baseline Perpendicular</i> dan Jarak Temporal	47
Tabel 4.2	Nilai <i>Displacement LOS</i> Pasangan Citra 2009- 2010	59
Tabel 4.3	Nilai <i>Displacement LOS</i> Pasangan Citra 2009- 2011	60
Tabel 4.4	Perbandingan <i>Land Subsidence</i> Hasil Pengolahan Citra.....	68
Tabel 4.5	Elevasi Pengukuran <i>GPS</i> Tahun 2009	70
Tabel 4.6	Elevasi Pengukuran <i>GPS</i> Tahun 2011	71
Tabel 4.7	Perbandingan Pengukuran <i>GPS</i> Kota Surabaya dengan Hasil Pengamatan <i>DInSAR</i> 2009-2011...	73
Tabel 4.8	Pengaruh Kondisi Geologi Terhadap <i>Subsidence</i>	76
Tabel 4.9	Zona Konservasi Air Bawah Tanah di Kota Surabaya Tahun 2008	79
Tabel 4.10	Zona Pengambilan Air Bawah Tanah	79

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR SIMBOL

ϕ	<i>phase</i>	18
$\Delta\phi_{defo}$	beda <i>phase</i>	18
R_1	jarak tempuh saat sinyal ditransmisikan	18
R_2	jarak tempuh saat sinyal diterima oleh antenna ..	18
λ	panjang gelombang	18
H	tinggi terbang	19
θ	<i>incidence angle</i>	19
Z	tinggi permukaan	19
I	<i>interferogram</i>	20
$C1$	kompleks konjugasi citra <i>master</i>	20
$C2$	kompleks konjugasi citra <i>slave</i>	20
γ'	nilai koherensi interferogram	21
γ_{geom}	besar dekorelasi geometri	22
r	<i>slant range</i>	22
Rr	besar resolusi <i>ground range</i>	22
B	<i>baseline</i>	22
$Y_{thermal}$	dekorelasi suhu	22
SNR	<i>Signal Noise to Ratio</i>	22
ϕ_G	fase <i>Interferometric</i>	23
ϕ_{topo}	dekorelasi topografi	23
ϕ_{orb}	perbedaan lintasan orbit	23
ϕ_{defo}	<i>land subsidence</i>	23
ϕ_{atm}	dekorelasi atmosfer	23
ϕ_{noise}	<i>noise phase</i>	23
Δr_{disp}	jarak <i>displacement</i>	39

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Parameter Hasil *Pre-Processing*
- Lampiran 2 : Tabel Besar *Displacement* Surabaya Utara, Surabaya Selata, Surabaya Timur, Surabaya Barat, Surabaya Pusat
- Lampiran 3 : Grafik *Displacement* Surabaya Utara, Surabaya Selata, Surabaya Timur, Surabaya Barat, Surabaya Pusat

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan sebuah negara yang memiliki berbagai macam kota besar. Saat ini pembangunan di kota-kota besar di Indonesia telah mengalami peningkatan yang sangat pesat di segala bidang. Terbukti dengan adanya lahan terbangun di daerah tersebut. Adanya aktivitas lahan terbangun yang sangat pesat, tentunya akan meningkatkan potensi pengambilan air tanah. Pengambilan air tanah yang berlebihan akan menimbulkan efek negatif terhadap perkembangan aktivitas masyarakat setempat, salah satunya adalah penurunan muka tanah (*land subsidence*).

Land subsidence atau penurunan permukaan tanah merupakan salah satu faktor yang cukup signifikan penyebab terjadinya banjir di suatu daerah atau kawasan. Ketika titik-titik yang mewakili suatu kawasan mengalami penurunan, yang menyebabkan daerah tersebut menjadi lebih rendah dari tempat-tempat lainnya atau lebih rendah dari bentang hidrologi yang ada di sekitarnya, maka daerah tersebut akan menjadi daerah yang berpotensi banjir terutama ketika musim hujan tiba (Chen, 1986).

Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia yang mengalami fenomena *land subsidence*. Terjadinya fenomena *land subsidence* di kota Surabaya telah berdampak negatif terhadap perkembangan aktivitas penduduk setempat dan lingkungannya. Adanya proses dinamika bumi dan kondisi geologi kota Surabaya turut memicu terhadap laju kecepatan *land subsidence*. Berdasarkan kondisi geologinya, kota Surabaya termasuk daerah dataran rendah yang memiliki jenis tanah relatif bergerak berupa tanah alluvial dan batuan sedimen. Tanah jenis alluvial akan mudah mengalami pergeseran posisi. Adanya fenomena *land subsidence* di Surabaya akan berpengaruh terhadap

perencanaan pembangunan dan pengembangan kota Surabaya. Untuk itu diperlukan informasi yang mendukung perencanaan tersebut, salah satunya adalah informasi tentang dinamika permukaan tanah.

Selain berdampak terhadap keberlanjutan rencana pembangunan dan pengembangan kota Surabaya, fenomena *land subsidence* juga mengakibatkan bencana banjir ketika musim hujan tiba serta meningkatnya daerah intrusi air laut kota Surabaya. Hal ini dikarenakan besar nilai *land subsidence* yang selalu mengalami kenaikan setiap tahunnya. Berdasarkan penelitian sebelumnya menggunakan metode GPS pada tahun 2007-2011, kota Surabaya telah mengalami *land subsidence* sebesar 3 – 27.9 mm/tahun (Handoko, 2011).

Dari dampak serius yang ditimbulkan dari *land subsidence*, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar tingkat penurunan muka tanah yang terjadi. *DInSAR* adalah teknologi pencitraan radar yang memanfaatkan informasi fase, amplitudo dan panjang gelombang dalam pengolahannya untuk mendapatkan topografi dan deformasi, khususnya *land subsidence*. Metode yang digunakan adalah *two-pass interferometric* dengan menggunakan *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* 30 meter sebagai *Digital Elevation Model (DEM)* referensi untuk menghapus unsur fase topografi (Sacristan, 2004).

Oleh karena itu penelitian tugas akhir dengan judul Analisis *Land Subsidence* Menggunakan Teknik *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*, (Studi Kasus: Kota Surabaya, 2009-2011) dilakukan untuk mengetahui besarnya *land subsidence* di kota Surabaya.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang muncul dari latar belakang tugas akhir yang telah disebutkan sebelumnya adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana tahap pengolahan data *ALOS PALSAR* menggunakan teknik *DInSAR* untuk mendapatkan besar penurunan muka tanah di kota Surabaya?
- b. Bagaimana besar penurunan muka tanah di kota Surabaya antara tahun 2009-2011 dengan menggunakan teknik *DInSAR*?

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup tugas akhir ini terbatas, dengan garis besar kajian sebagai berikut:

- a. Wilayah studi adalah kota Surabaya.
- b. Besar penurunan muka tanah yang diamati adalah dalam kurun waktu tahun 2009-2011.
- c. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data *ALOS PALSAR* tahun 2009, 2010, 2011.
- d. Teknik yang digunakan adalah *DInSAR*.
- e. Data hasil pengukuran *DInSAR* akan divalidasi menggunakan data hasil pengukuran GPS di Kota Surabaya tahun 2007 - 2011.
- f. Data pendukung lainnya berupa data penggunaan air tanah kota Surabaya dan geologi kota Surabaya.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mendapatkan besar penurunan muka tanah di kota Surabaya menggunakan teknik *DInSAR*.
- b. Mendapatkan laju penurunan muka tanah di kota Surabaya antara tahun 2009-2011 dengan menggunakan teknik *DInSAR*.

1.5 Manfaat Kegiatan Tugas Akhir

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian tugas akhir ini adalah :

- a. Memberikan informasi kepada Pemerintah kota Surabaya mengenai laju penurunan muka tanah atau *land subsidence*.
- b. Memberikan kontribusi dalam pemodelan penurunan permukaan tanah yang akurat di kota Surabaya.
- c. Memberikan kontribusi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang geospasial.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bentang Alam Kota Surabaya

Luas wilayah Kota Surabaya adalah 33.048 Ha. Wilayah Surabaya secara umum terbagi menjadi 5 wilayah yaitu Surabaya Pusat, Surabaya Timur, Surabaya Barat, Surabaya Utara, dan Surabaya Selatan.

2.1.1 Topografi

Secara umum keadaan topografi Kota Surabaya memiliki ketinggian tanah berkisar antara 0-20 meter di atas permukaan laut, sedangkan pada daerah pantai ketinggiannya berkisar antara 1-3 meter di atas permukaan air laut. Sebagian besar Kota Surabaya memiliki ketinggian tanah antara 0-10 meter (80.72%) yang menyebar di bagian timur, utara, selatan, dan pusat kota. Pada wilayah lain memiliki ketinggian 10-20 meter dan 20 meter di atas permukaan air laut yang umumnya terdapat pada bagian barat kota yaitu di Pakal, Lakarsantri, Sambikerep, dan Tandes (Badan Perencanaan dan Pembangunan Kota Surabaya, 2009). Secara umum Kota Surabaya didominasi kelas kemiringan lereng datar (0-8%) sebesar 79% dan 21% dengan kelas kemiringan lereng landai (8- 15%) dari total luasan wilayah Surabaya (Dinas Pertanian Kota Surabaya, 2010). Dataran rendah meliputi wilayah Surabaya Timur, Utara dan Selatan memiliki kemiringan <3% dan terletak pada ketinggian <10m dari permukaan laut.

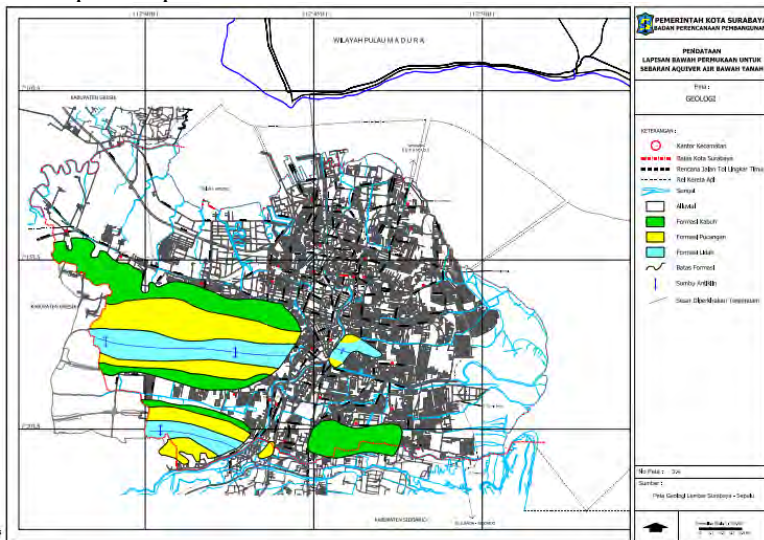
2.1.2 Faktor Geologi

a. Jenis Batuan

Secara geologi kota Surabaya terbentuk oleh batuan sedimen yang berumur Miosen sampai Plistosen. Batuan sedimennya adalah bagian dari lajur Kendeng dengan formasi Sonde, Lidah, Pucangan, dan formasi Kabuh. Batuan dasar untuk

kota Surabaya merupakan jenis batuan formasi Lidah yang berumur Pliosen (*pre-tertiary*). Formasi ini berada pada kedalaman 250 – 300 meter. Selain itu daerah Surabaya berupa cekungan endapan alluvial muda hasil endapan laut dan sungai, dan batu pasir (Soekardi, 1992).

Bagian tengah Kota Surabaya terbentuk oleh endapan Sungai Brantas beserta cabang-cabang sungainya dan endapan Sungai Rowo. Endapan Sungai Brantas berasal dari letusan gunung berapi yang berada di hulu dan beberapa rombakan sebelumnya. Endapan ini biasanya berupa pasir (0.075 mm – 0.2 mm) dan kerikil (2 mm – 75 mm). Bagian timur dan utara sampai sepanjang Selat Madura dibentuk oleh endapan pantai yang masuk ke daratan sampai ± 5 km. Endapan pantainya terdiri dari lempung lanau dan lempung kelanauan, sisipan tipis tipis yang pada umumnya mengandung banyak kepingan kerang di beberapa tempat.



Gambar 2.1 Peta Geologi Kota Surabaya
(Sumber : BAPPEKO Surabaya, 2009)

b. Jenis Tanah

Daerah dataran kota Surabaya secara geologis 70% wilayah kota Surabaya memiliki jenis tanah alluvium pantai dan alluvium sungai. Endapan alluvium tersusun oleh material rombakan berukuran lempung, hingga kerakal dan berwarna kelabu tua.

Tabel 2.1 Jenis Tanah Kota Surabaya
(Sumber : BAPPEKO, Surabaya)

Wilayah Administrasi Kota Surabaya		Jenis Tanah
No.		
1.	Pusat	Alluvial, endapan lumpur
2.	Utara	Alluvial dan alluvial bukan abu vulkanik
3.	Timur	Alluvial, endapan lumpur, endapan pasir
4.	Barat	Alluvial, bukan abu vulkanik alluvial bukan abu vulkanik
5.	Selatan	Alluvial, bukan abu vulkanik, endapan lumpur, endapan pasir lumpur

Surabaya merupakan daerah yang terletak di dataran rendah. Kondisi geofisik kawasan berdasarkan jenis tanah di Surabaya dikelompokkan atas : tanah bukan abu vulkanik, alluvial, endapan pasir lumpur, endapan lumpur, dan endapan pasir. Jenis tanah yang paling banyak ditemukan adalah alluvial yang berkisar 80% dari total keseluruhan di Surabaya.

Tanah alluvial merupakan tanah yang terbentuk dari lumpur sungai yang mengendap di daratan rendah yang memiliki sifat tanah yang subur dan cocok untuk lahan pertanian. Jenis tanah ini terdapat di 15 Kecamatan yang tersebar di wilayah Surabaya Pusat, Utara, Selatan, Timur, dan Barat. Untuk jenis tanah bukan abu vulkanik ditemukan di lima Kecamatan di wilayah Surabaya Selatan dan Barat. Jenis tanah endapan lumpur, terdapat di empat Kecamatan wilayah Surabaya Pusat, Selatan, dan Timur.

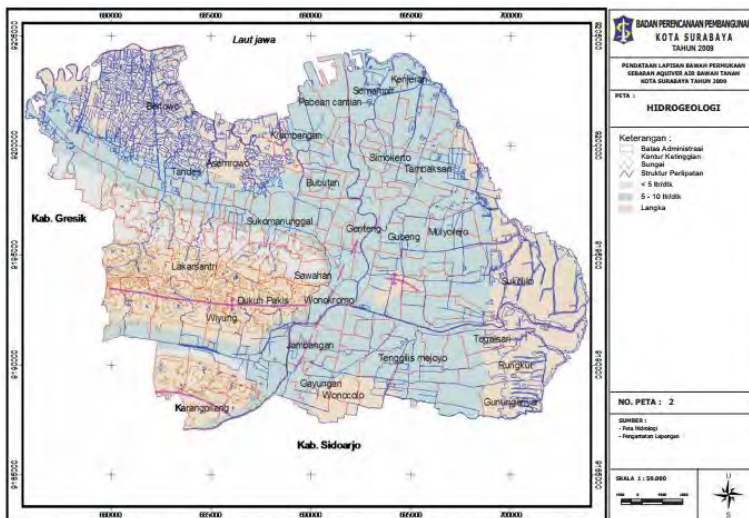
Jenis tanah endapan pasir hanya ditemukan di satu Kecamatan wilayah Surabaya Timur. Jenis tanah endapan pasir lumpur juga

hanya terdapat di satu Kecamatan di wilayah Surabaya Selatan. Dan untuk jenis tanah campuran antara alluvial dan bukan abu vulkanik, terdapat di tiga Kecamatan di wilayah Surabaya Utara dan Barat (Dinas Pertanian Kota Surabaya, 2010).

2.1.3 Faktor Geohidrologi

Geohidrologi adalah ilmu mengenai air tanah dengan penekanan pada aspek hidrologi dan hidroliknya (sirkulasi dan gerakan air).

Air tanah dan produksi akuifer di kota Surabaya terdiri atas dua jenis, meliputi akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir (tersebar di Surabaya) dan akuifer (bercelah atau bersarang) produktif kecil dan daerah air tanah langka. Dari dua jenis akuifer ternyata akuifer jenis aliran melalui ruang antar butir yang banyak terdapat di Kota Surabaya, terutama di wilayah utara, timur dan selatan kota menyusur ke arah pesisir pantai. Sedangkan akuifer bercelah hanya terdapat di daerah Surabaya bagian utara, timur dan barat.



Gambar 2.2 Peta Hidrogeologi Kota Surabaya
(Sumber : BAPPEKO Surabaya, 2009)

Aliran air tanah kota Surabaya berasal dari dua *recharge* area yaitu dari pegunungan lipatan yaitu formasi pucangan dan dari pegunungan vulkanik. Pertemuan kedua arah aliran air tanah yang berasal dari dua *recharge* terdapat di wilayah Surabaya Barat di sekitar Kali Rawa, sekaligus mengakibatkan potensi air tanah yang cukup besar.

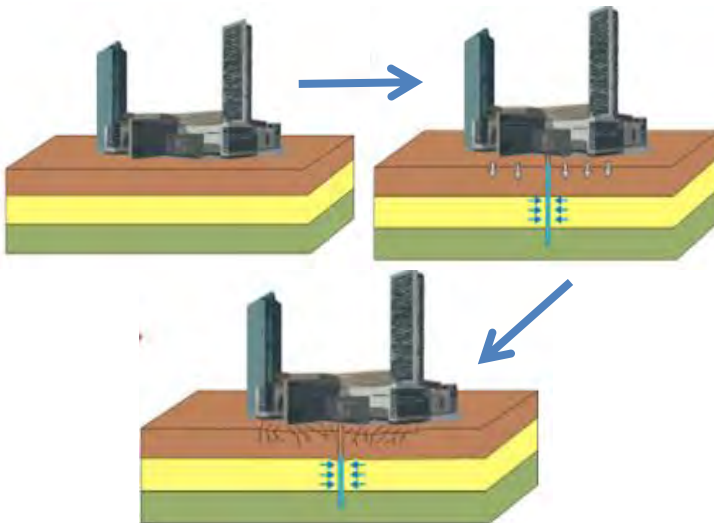
Berkaitan dengan intrusi, wilayah di Kota Surabaya dengan kadar garam tinggi cukup luas sebenarnya, serta semua jenis tanah sudah mengalami intrusi air laut dan kadar garam yang tidak sesuai standar air minum. Masing-masing jenis tanah sudah terdapat palung-palung air tanah terisi air laut, sehingga keseimbangan air pada lapisan tanah sudah terganggu. Penataan ruang kota untuk segala pemanfaatannya harus disesuaikan dengan kondisi fisik lingkungan untuk mencegah meluasnya intrusi (Badan Perencanaan dan Pembangunan Kota Surabaya, 2009).

2.2 Land subsidence

Land subsidence didefinisikan sebagai turunnya kedudukan permukaan tanah yang disebabkan oleh kompaksi tanah (Wei, 2006). Adanya *land subsidence* diakibatkan oleh proses alamiah dan aktivitas manusia. Contoh penyebab penurunan permukaan tanah adalah pengambilan air tanah yang berlebihan (*ground water over exploitation*), keluarnya gas dan lumpur secara massif dari dalam tanah ke permukaan, penurunan karena beban bangunan diatas permukaan, penurunan karena adanya konsolidasi alamiah dari lapisan-lapisan tanah, serta penurunan karena gaya-gaya tektonik. Data dan informasi tentang penurunan muka tanah akan sangat bermanfaat bagi aspek-aspek pembangunan seperti untuk perencanaan tata ruang (di atas maupun di bawah permukaan laut), perencanaan pembangunan sarana/prasarana, pelestarian lingkungan, pengendalian dan pengambilan air tanah, pengendalian intrusi air laut, serta perlindungan masyarakat (linmas) dari dampak penurunan tanah (seperti

terjadinya banjir). Oleh karena itu sudah sewajarnya bahwa informasi tentang karakteristik penurunan tanah ini perlu diketahui dengan sebaik-baiknya dan sedini mungkin. Dengan kata lain fenomena penurunan tanah perlu dipelajari dan dipantau secara berkesinambungan, artinya proses monitoring sangat berperan.

Pada prinsipnya, penurunan muka tanah dari suatu wilayah dapat dimonitor dengan menggunakan beberapa metode, baik metode hidrogeologis (pengamatan *mean sea level* serta pengamatan dengan ekstensometer dan piezometer yang diinversikan ke dalam besaran penurunan muka tanah) dan metode geoteknik, maupun metode geodetic seperti survey sipat datar (*leveling*), survei mikrogravitasi, survei *GPS* (*Global Positioning System*), dan *InSAR* (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*).

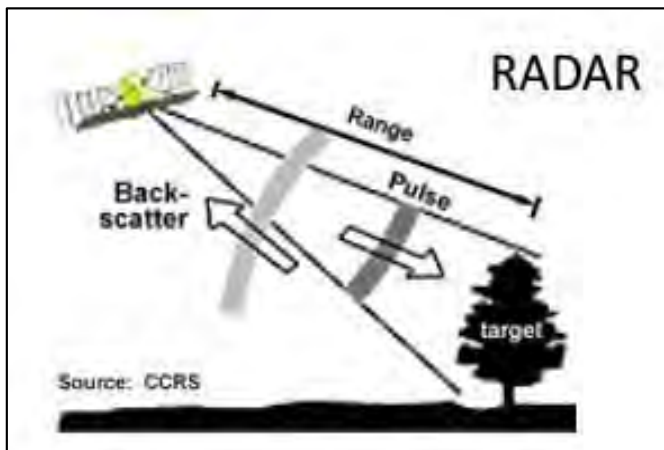


Gambar 2.3 *Land Subsidence*
(Sumber : Syawal, 2013)

2.3 **RADAR (*Radio Detection and Ranging*)**

RADAR adalah salah satu sistem penginderaan jauh (inderaja) yang tidak dipengaruhi oleh cuaca dan waktu dalam proses pengerjaannya karena merupakan metode perekaman aktif, dimana sensor pada radar ini merekam energinya sendiri yang dipantulkan oleh objek di permukaan bumi, tidak tergantung ada radiasi matahari.

Radar bekerja dalam sistem elektromagnetik. Alat ini berguna sebagai detektor terhadap suatu objek berdasarkan pantulan gelombang elektromagnetik yang diterima dari benda-benda seperti pesawat terbang, kapal laut, kendaraan bermotor, dan berbagai benda yang bersifat mampu memantulkan gelombang elektromagnetik. Pemancar pada radar bertugas untuk membangkitkan gelombang elektromagnetik, dan gelombang tersebut selanjutnya akan dipancarkan oleh antenna. Gelombang yang terpancarkan akan menabrak objek, dan target akan memantulkan gelombang ke berbagai arah (Skolnik, 2001). Sehingga prinsip dasar radar adalah memancarkan gelombang radio dan merekam pantulan obyek di permukaan bumi.



Gambar 2.4 Prinsip Kerja RADAR
(Sumber : Skolnik, 2001)

Gelombang pantulan yang direkam oleh sensor inilah yang kemudian diolah menjadi citra. Citra dapat terbentuk karena gelombang yang dipantulkan mempunyai intensitas yang berbeda, tergantung dari sudut pantul obyek. Radar menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 0.3 – 40 GHz dan panjang gelombang 0.7 cm – 100 cm. Hanya beberapa band saja yang dapat digunakan untuk pencitraan karena adanya perbedaan interaksi antara atmosfer dan permukaan bumi pada setiap panjang gelombangnya (Tomiya, 2010).

Tabel 2.2 Panjang Gelombang Radar dan Frekuensinya
(Sumber : Tomiyama, 2010)

Gelombang (band)	Panjang Gelombang (cm)	Frekuensi (GHz)
Ka	0.75 – 1.1	27 - 40
K	1.1 – 1.67	18 - 27
Ku	1.67 – 2.4	12 - 18
X	2.4 – 3.75	8 - 12
C	3.75 – 7.5	4 - 8
S	7.5 - 15	2 - 4
L	15 - 30	1- 2
P	30 - 100	2- 0.3

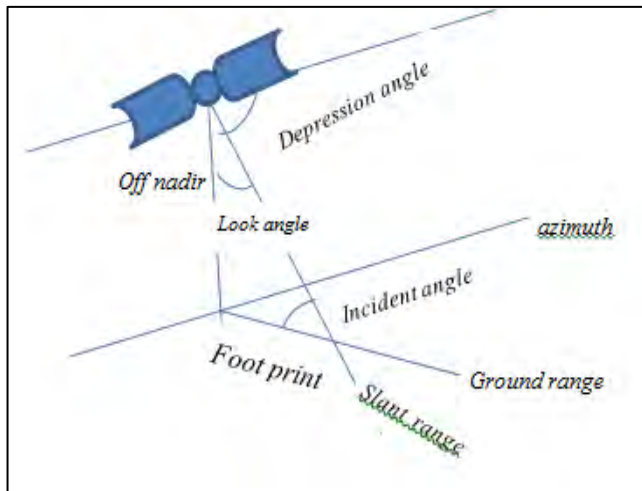
Tabel 2.3 Aplikasi-Aplikasi Gelombang Radar
(Sumber : Tomiyama, 2010)

Band	Panjang Gelombang (cm)	Frekuensi (GHz)	Aplikasi
X	2.4 – 3,8	12.5 – 8	Militer dan survey pemetaan
C	3.8 – 7.5	8 – 4	Pada radar ruang angkasa seperti ESRI
S	7.5 – 15	4 – 2	Pada sistem Almaz
L	15 – 30	2 – 1	Pada SEASAT dan JERSI
P	30 – 100	0.3 – 0.001	USA JPL – AirSAR

Band yang biasa digunakan untuk pencitraan oleh radar hanya band X, C, L dan P (Lusch, 1999). Semakin panjang gelombang yang dipancarkan maka gelombang tersebut akan memiliki kemampuan penetrasi awan dan uap air yang semakin meningkat, tetapi berbalik dengan frekuensi yang digunakan.

2.3.1 Geometri Pencitraan Radar

Selain dipengaruhi oleh faktor jenis band yang digunakan, proses kerja radar tentunya juga dipengaruhi oleh faktor geometri pencitraan radar.



Gambar 2.5 Geometri Pencitraan Radar
(Sumber : Lusch, 1999)

Pada gambar 2.5 terdapat 5 prinsip geometri pencitraan radar yang mampu ditinjau dari beberapa sudut yang dibentuk meliputi:

a. *Incidence Angle*

Incidence angle merupakan sudut yang dibentuk oleh pancaran radar terhadap garis tegak lurus dari permukaan.

b. *Depression Angle*

Depression angle merupakan sudut yang dibentuk oleh horizon wahana terhadap arah pancaran radar.

c. *Look Angle*

Look Angle merupakan sudut yang dibentuk oleh nadir satelit terhadap arah pancaran gelombang radar.

d. *Slant Range*

Slant Range merupakan jarak miring dari wahana terhadap objek di permukaan bumi. *Slant Range* ini terbagi menjadi *near range* (NR) dan *far range* (FR).

e. *Ground Range*

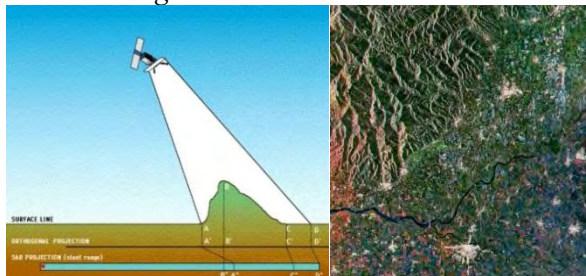
Ground Range merupakan jarak lurus dari wahana terhadap objek yang ada di permukaan bumi.

2.3.2 Distorsi Pencitraan Radar

Arah pencitraan radar yang kesamping menyebabkan adanya perbedaan representasi topografi pada citra radar sehingga terjadi distorsi, diantaranya (ESA, 2000) :

a. *Foreshortening* (pemendekan)

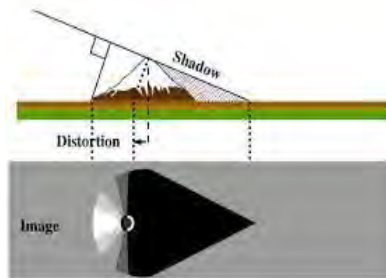
Foreshortening mengakibatkan proyeksi objek hasil pencitraan menjadi lebih pendek dibandingkan dengan panjang yang sebenarnya. Distorsi ini bergantung pada *look angle* dari radar, semakin besar *look angle* maka efek *foreshortening* akan semakin kecil.



Gambar 2.6 *Foreshortening*
(Sumber : ESA, 2000)

b. *Shadow*

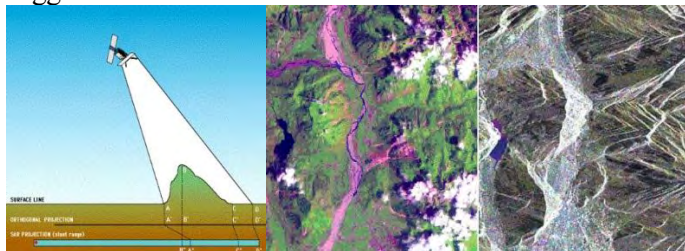
Shadow terjadi akibat tidak adanya gelombang pantul yang diterima kembali oleh radar. Ketiadaan gelombang pantul tersebut dikarenakan gelombang yang dipancarkan radar tidak mengenai permukaan akibat terhalang oleh suatu objek. *Shadow* biasanya ditandai adanya bagian yang tampak gelap pada citra.



Gambar 2.7 *Shadow*
(Sumber : ESA, 2000)

c. *Layover*

Layover mengakibatkan titik atau objek yang jauh menjadi lebih dekat dengan sensor radar. *Layover* umumnya terjadi pada objek yang lebih tinggi dibandingkan objek didepannya. Hal tersebut terjadi karena gelombang yang dipantulkan oleh objek yang lebih tinggi akan diterima terlebih dahulu oleh sensor radar.



Gambar 2.8 *Layover*
(Sumber : ESA, 2000)

2.4 SAR

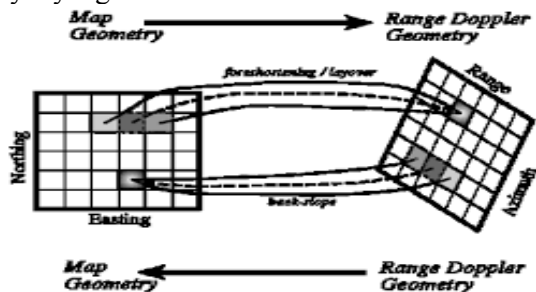
SAR merupakan sistem radar koheren yang membentuk citra penginderaan jauh resolusi tinggi yang dapat digunakan pada siang maupun malam hari, hal ini dikarenakan sistem *SAR* menggunakan gelombang radio (*microwave*) dalam pengamatan permukaan bumi. Menurut ESA (2000) bahwa resolusi *SAR* dibagi menjadi dua hal, yaitu sebagai berikut:

a. *Range Resolution*

Resolusi dari pulsa radar adalah secara mendatar dibatasi oleh *bandwith* (B) dari pancaran pulsa gelombang (c), dengan semakin lebar *bandwidth* maka resolusi *range* semakin baik, lebar *bandwidth* tersebut akan dicapai dengan pulsa durasi pendek.

b. *Azimuth Resolution*.

Resolusi pada arah azimuth merupakan resolusi yang sejajar dengan arah terbang wahana. Dengan kata lain yaitu kemampuan dari radar untuk membedakan objek yang melintas searah lintasan wahana. Karena pengamat ber-*platform* dan berpindah-pindah, maka jarak dari radar ke target juga secara kontinyu berubah dan *phase* dari pantulan sinyal juga berubah sesuai dengan hukum yang diberikan oleh observasi geometri. Perubahan *phase* berhubungan dengan waktu frekuensi angular *Doppler*, serta resolusi azimuth ditentukan oleh *bandwith Doppler* dari sinyal yang diterima.



Gambar 2.9 Azimuth dan Range
(Sumber : ESA, 2000)

2.5 InSAR

Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR) merupakan suatu teknik penginderaan jauh yang digunakan untuk mengekstraksi informasi tiga dimensi dari permukaan bumi dengan pengamatan fase gelombang radar. Menurut Ismullah, 2004, citra *SAR* yang akan diolah secara interferometri, khususnya dari satelit sering disebut dengan citra kompleks atau *SLC (Single Look Complex)*, yang mana dalam tiap pixelnya tersusun atas informasi amplitudo (a) dan *phase* (ϕ):

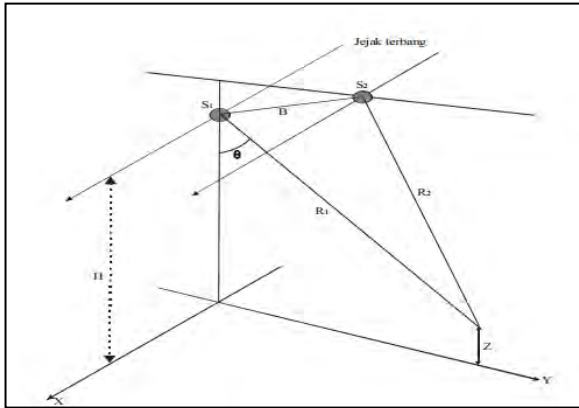
a. Amplitudo

Tampilan gambar pada citra radar dapat terbentuk karena hasil pengukuran amplitudo dari adanya sistem radar. Amplitudo menunjukkan seberapa kuat hamburan dari objek radar yang dapat diterima oleh *transmitter*. Semakin kuat hamburan, maka semakin terang area pada citra radar, hal tersebut menunjukkan objek dengan permukaan yang kasar. Sedangkan semakin lemah hamburan maka semakin gelap area pada radar yang berarti menunjukkan objek dengan permukaan rata atau halus. Saat gelombang elektromagnetik berinteraksi dengan permukaan, maka pulsa gelombang akan dipancarkan ke segala arah dan sebagian pantulannya tersebut akan diterima kembali oleh sensor. Intensitas dari gelombang pantul ini sangat lemah bila dibandingkan dengan gelombang yang dipancarkan. Faktor kekerasan permukaan juga mempengaruhi terhadap gelombang pantul yang dipancarkan.

b. *Phase*

Phase merupakan kondisi osilasi suatu sinyal gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang berulang sejauh 2π (Ismullah, 2004). Ketika titik di tanah bergerak, maka jarak antara sensor dan titik akan berubah, dan berpengaruh pada nilai *phase* yang direkam oleh sensor *SAR*. Gambar berikut menunjukkan

hubungan antara gerakan tanah dan pergeseran sinyal *phase*.



Gambar 2.10 Geometri *InSAR*
(Sumber : Genderen, 1995)

Pada gambar 2.10 diatas tampak bahwa S1 dan S2 merupakan 2 buah sensor yang berbeda, memancarkan gelombang radar pada suatu objek dengan tinggi objek tersebut sebesar Z dari bidang referensi. R1 dan R2 adalah jarak geometris objek terhadap sensor radar, disebut juga *Slant Range*. Fase kedua sinyal tersebut memenuhi persamaan (Genderen, 1995) :

$$\phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} R_1 \quad (2.1)$$

$$\phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} R_2 \quad (2.2)$$

Sehingga beda fase (ϕ) antara kedua sinyal yang diterima dari elemen permukaan yang sama pada kedua posisi antenna dapat dituliskan sebagai persamaan dibawah ini [Genderen, 1995].

$$\Delta\phi_{defo} = \frac{4\pi}{\lambda} (R_1 - R_2) \quad (2.3)$$

Keterangan :

$\Delta\phi_{defo}$ = Beda *phase*

λ = Panjang gelombang.

R_1 dan R_2 = jarak antara masing-masing antenna dengan objek yang sama.

Maka dapat dihitung tinggi titik Z dengan persamaan (Genderen, 1995):

$$Z = H - R_1 \cos \theta \quad (2.4)$$

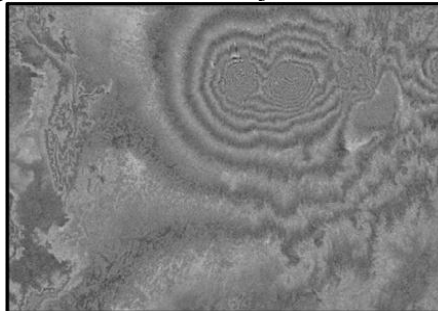
Dengan :

H = tinggi terbang θ = *incidence angle*

Z = tinggi permukaan R_1 = jarak antenna 1 dengan objek

2.6 Interferogram

Citra interferogram adalah citra hasil perkalian kompleks konjugasi antara citra *master* dan citra *slave* (GeoSARNas,2011). Perkalian citra dilakukan piksel demi piksel untuk posisi yang bersesuaian koordinatnya, sehingga amplitudo hasil citra interferogram mencerminkan rata-rata antara kedua citra masukan, sementara fasenya merupakan beda fase antara kedua sinyal radar. Dalam hal ini resultan fase interferogram memiliki hubungan langsung dengan topografi objek dalam modulus 2π . Pola gelap-terang tersebut mengandung informasi beda ketinggian yang akan diekstraksi menjadi data DEM.



Gambar 2.11 Citra *Interferogram* Pasangan Data SAR SLC
(Sumber: GeoSARNas,2011)

Mengacu pada gambar 2.11 menunjukkan citra interferogram hasil pengolahan pasangan data *SAR SLC*, dimana dilakukan penghitungan dan pembentukan citra *fringe* interferogram, yaitu pola gelap-terang hasil dari proses interferensi dan koherensi pasangan gelombang SAR yang berbeda fase.

2.6.1 Koregistrasi Citra SAR

Dalam tahap ini merupakan tahap yang sangat penting dan dalam waktu yang cukup lama. Tahap awal ini sangat berpengaruh terhadap hasil *interferogram*.

Terdapat 2 hal penting dalam proses koregistrasi citra, diantaranya:

a. Koregistrasi Citra Kompleks

Salah satu citra kompleks yang setiap pixelnya mempunyai harga dalam bilangan kompleks adalah citra *SAR*. Jika terdapat dua buah citra (*SLC*) dengan objek yang sama, maka informasi fase dari kedua citra tersebut dapat dikombinasikan. Pixel kompleks dapat digambarkan sebagai suatu vektor, dimana panjang vektor menyatakan amplitudo sedang arah/ orientasinya menyatakan fase (ϕ).

Pembentukan *interferogram* dilakukan dengan menghitung lebih dahulu bentuk kompleks dari perkalian kompleks konjugasi (*) antara citra pertama *C1 (master)* dengan citra kedua *C2 (slave)* melalui persamaan :

$$I = C1.C2^* \quad (2.5)$$

b. Parameter Koregistrasi

Terdapat nilai parameter utama dalam tahap koregistrasi yaitu translasi, skala, rotasi, dan kemiringan. Nilai parameter tersebut akan berpengaruh terhadap koordinat dari citra tersebut.

2.6.2 Koherensi Citra SAR

Koherensi (korelasi) antara kedua citra juga harus diperhitungkan dalam proses pembentukan data *interferogram*. Koherensi adalah koefisien korelasi dari citra SAR pada bagian terkecil. Nilai koherensi dapat dinyatakan pada persamaan (Hartl, 1996) :

$$\gamma' = \left| \frac{\Sigma C1 . C2 *}{\sqrt{\Sigma C1 . C1 * \Sigma C2 . C2 *}} \right| \quad (2.6)$$

Jika $C1$ dan $C2$ benar- benar identik, maka $\gamma' = 1$, akan tetapi jika tidak maka nilainya berkisar $0 \leq \gamma' \leq 1$. Dimana persyaratan yang diberikan oleh *European Space Agency (ESA)*, nilai minimum koherensi untuk pembentukan Model Tinggi Permukaan Dijital adalah 0.20.

2.6.3 Faktor Koherensi

Menurut Hanssen (2001), nilai koherensi dipengaruhi oleh 4 dekorelasi yaitu :

a. Dekorelasi Waktu

Data yang diperoleh secara tidak bersamaan yang diperoleh secara tidak bersamaan, menyebabkan hilangnya koherensi citra atau menurunnya kualitas fase (*interferogram*) karena perubahan temporal seperti perubahan reaksi vegetasi, pergerakan permukaan air secara terus menerus, erosi tanah, dan aktivitas manusia.

b. Dekorelasi Geometri

Jika dua akuisisi data diperoleh dari kondisi geometri yang sama dan reflektornya tidak bergeser, maka jumlah reflektor akan sama (nilai *phase* juga sama). Namun jika kondisi geometri dua akuisisi berubah maka jumlah reflektor akan berbeda, dan fase akan termodifikasi. Karena terdapat pemancaran gelombang yang bermacam- macam, maka frekuensi yang dibawa juga akan bervariasi. *Shift frequency* (pergeseran frekuensi) antar dua akuisisi diperoleh dari dua kejadian yang berbeda.

$$\gamma_{geom} = 1 - 2 \left(|B| R_r \frac{(\cos\theta)^2}{\lambda r} \right) \quad (2.7)$$

γ_{geom} menyatakan besar dekorelasi geometri, r merupakan *slant range* (jarak sensor ke target), R_r merupakan besar resolusi *ground range*, sedangkan B merupakan *baseline* atau jarak antara sensor 1 dan 2.

c. Dekorelasi Atmosfer

i. Lapisan Troposfer

Jika indeks bias lebih tinggi dari 1, maka kecepatan lintas gelombang akan semakin rendah dari kecepatan cahaya, yang mana terjadi pemanjangan gelombang. Efek troposfer memperpanjang gelombang sehingga menimbulkan kesalahan dalam penentuan jarak.

ii. Lapisan Ionosfer

Penyimpangan kerapatan elektron pada lapisan ionosfer (F) membuat lintasan garis edar memendek. Penyimpangan ionosfer berkaitan dengan pembentukan awan, gelembung ionosfer, dlebih umumnya karena variasi uap air pada troposfer.

d. Dekorelasi Suhu

Menurut Hanssen (2011) dalam Sasongko 2012, pengaruh dari gangguan panas terhadap nilai fase didapatkan dengan memperhatikan nilai *Signal Noise to Ratio (SNR)*. *SNR* merupakan ukuran kekuatan sinyal yang berhubungan dengan ukuran panas, dimana ukuran panas tersebut terjadi karena proses penguatan (*amplification*) dari sinyal radar yang diterima oleh antena. Dekorelasi suhu digambarkan dengan persamaan $Y_{thermal}$:

$$Y_{thermal} = \frac{1}{1 + SNR^{-1}} \quad (2.8)$$

2.7 DInSAR

Salah satu teknologi radar yang digunakan dalam pemantauan penurunan muka tanah adalah *DInSAR* (*Differential*

Interferometric Synthetic Aperture Radar). *DInSAR* adalah teknologi geodesi yang telah dikembangkan dengan baik selama beberapa dekade terakhir untuk pengamatan *land subsidence* permukaan dengan akurasi yang tinggi pada sentimeter. Metode yang digunakan adalah *two-pass interferometric*.

Teknik *DInSAR* bertujuan untuk mengamati pergerakan tanah atau *land subsidence* dengan menggunakan teknik *repeat-pass interferometry* fase *interferometric* (ϕ_G) mengandung dekorelasi dari profil topografi (ϕ_{topo}), perbedaan lintasan orbit (ϕ_{orb}), *land subsidence* (ϕ_{defo}), atmosfer (ϕ_{atm}), dan *noise* fase (ϕ_{noise}). Secara mudah diformulasikan sebagai berikut (Hanssen, 2001).

$$\phi_G = \phi_{topo} + \phi_{orb} + \phi_{defo} + \phi_{atm} + \phi_{noise} \quad (2.9)$$

Menurut Hanssen (2001) cara untuk mendapatkan efek *land subsidence* yaitu melakukan deferensial pada *interferogram* dan menghilangkan pengaruh topografi, *noise*, serta atmosfer. Sebenarnya, berdasarkan metode *DInSAR* terbagi atas 3 jenis yaitu *Two-Pass DInSAR*, *Three-Pass DInSAR*, *Four-Pass DInSAR*.

a. *Two-Pass DInSAR*

Metode dual pass *DInSAR* merupakan metode yang menggunakan dua buah citra *SAR* dan *Digital Elevation Model (DEM)*. Citra *SAR* tersebut akan digunakan untuk mendapatkan *interferogram*, sedangkan *DEM* digunakan untuk menghilangkan pengaruh topografi pada fase *interferogram* (Sacristan, 2004). Metode ini menggunakan model elevasi (*DEM*) eksternal yang dikonversikan kedalam koordinat radar, diskalakan menggunakan *baseline* (Massonnet, 1998). Kesalahan yang terdapat pada data *DEM* ini pada akhirnya akan merambat pada hasil perhitungan *DInSAR*. Dengan kata lain, semakin baik kualitas *DEM* yang digunakan, maka semakin baik pula citra *DInSAR* yang dihasilkan.

b. Three-Pass DInSAR

Metode ini membutuhkan pasangan topografi yang diperoleh dari citra *SAR* 1 dan 2 dimana selisih temporal dari dua pengamatan tersebut saling berdekatan, sehingga tidak ada unsur *land subsidence* didalam model topografi itu atau dianggap tidak memiliki kesalahan *land subsidence*. Kemudian dibutuhkan pasangan topografi yang masih dipengaruhi oleh *land subsidence* yang diperoleh dari citra *SAR* 1 dan 3 yang memiliki selisih temporal yang cukup berjauhan. Pasangan citra ini selanjutnya diproses untuk menghasilkan data topografi yang diperlukan pada pengolahan *DInSAR*.

c. Four-Pass DInSAR

Secara umum metode ini hampir sama dengan *three pass Interferometri*, namun pada metode ini digunakan empat buah citra dari empat akuisisi data yang berbeda. *Interferogram* hasil kombinasi empat buah citra inilah yang akan digunakan pada proses differencing (Sacristan, 2004).

2.8 Digital Elevation Model (DEM)

DEM adalah data digital yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil *sampling* dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat (Tempfli, 1991).

DEM merupakan salah satu model untuk menggambarkan bentuk topografi permukaan bumi sehingga dapat divisualisasikan kedalam tampilan 3D. Susunan nilai-nilai digital mewakili distribusi spasial dari karakteristik medan. Distribusi spasial itu sendiri dinyatakan dalam sistem koordinat horisontal X dan Y, sedangkan ketinggian medan dinyatakan dalam Z.

Gambaran model relief rupabumi tiga dimensi yang menyerupai keadaan sebenarnya di dunia nyata dapat divisualisaikan dengan bantuan teknologi komputer grafis atau teknologi *virtual reality*. Sumber data *DEM* dapat diperoleh dari

Foto udara stereo, Citra satelit stereo, data pengukuran lapangan *GPS* dan Total Station, Echosounder, Peta topografi, maupun dari citra RADAR.



Gambar 2.12 *DEM SRTM 30 Meter*
(Sumber : *USGS*, 2000)

2.9 **ALOS PALSAR**

PALSAR (*Phased Array type L-Band Synthetic Aperture Radar*) merupakan sensor gelombang mikro aktif yang dapat dioperasikan baik siang maupun malam hari pada band L (frekuensi pusat 1270 MHz 23.6 cm). Satelit ini merupakan perbaikan satelit observasi bumi pertama dengan *SAR* yaitu *JERS-1*. *PALSAR* terbagi menjadi tiga mode observasi, diantaranya (Japan Space System, 2012).

a. *Fine Mode*

Pengamatan dengan mode *Fine Beam* yang paling umum digunakan. Besar *range resolution* 7 m, sedangkan lebar sapuan 40 – 70 km. *Fine beam* merupakan salah satu sistem *SAR* dengan resolusi tinggi dibandingkan dengan *JERS-1* yang memiliki resolusi 18 m.

b. *ScanSAR Mode*

Pengamatan dengan mode *ScanSAR* memungkinkan untuk beralih ke sudut *off-nadir* dari 3 sampai 5 kali (scan dengan lebar petak 70 km) untuk menyapu area dengan

luas 250 km (70 x 3) ke 350 km (70 x 5). Besar *resolution range* pada *mode* ini yaitu 100 m.

c. *Polarimetric Mode*

Tidak hanya polarisasi horisontal saja atau vertikal saja (HH atau VV), *PALSAR* juga dapat secara bersamaan menerima polarisasi horisontal dan vertikal atau sebaliknya (HV atau VH) pada tiap transmisi, atau yang disebut dengan multipolarisasi memungkinkan melakukan empat polarisasi dengan dua polarisasi secara simultan, fungsi ini disebut *full polarimetry*. Besar *resolution range* pada *mode* ini yaitu 24 - 89 m. Data yang dihasilkan oleh *ALOS PALSAR* akan diubah sesuai dengan format *CEOS (Comitte on Earth Observation Satellite)* sebelum digunakan oleh pengguna.

Untuk data dengan resolusi tinggi (*fine beam*) terbagi menjadi 3 format menurut tingkat pemrosesan data yang dilakukan oleh *CEOS* yaitu sebagai berikut (Japan Space System, 2012) :

a. Level 1.0

Pada level ini, data *ALOS PALSAR* masih berupa data *raw*. Pengolahan yang telah dilakukan *CEOS* pada data level ini adalah membagi data menjadi citra- citra tertentu.

b. Level 1.1

Pada level ini, data dikeluarkan oleh *CEOS* berupa *SLC (Single Look Complex)* dan *MLI (Multi Looks Image)*. Pada level 1.1 sistem koordinat yang digunakan adalah *slant angle*. Pembuatan *interferogram* dilakukan pada tahap level ini. Pengolahan yang dilakukan pada level ini adalah *range compression*, *autofocus* dan *azimuth compression*.

c. Level 1.5

Pada level ini, data yang dikeluarkan *CEOS* yang mana data *InSAR* telah dikonversi dari sistem koordinat *slant range* menjadi *ground range* sehingga data ini telah *orthorectified image* artinya citra ini tidak lagi diproyeksikan secara perpektif, melainkan telah diproyeksikan secara tegak lurus.

2.10 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian sebelumnya tentang aktivitas *land subsidence* di kota Surabaya, menyebutkan bahwa telah dilakukan pengamatan data *GPS* tahun 2007-2011. Dari pengukuran tersebut, diperoleh hasil penurunan permukaan tanah sebagai berikut (Handoko, 2011).

Terjadi perubahan yang sangat signifikan pada daerah-daerah tertentu di kota Surabaya, dimana terjadi penurunan muka tanah terbesar di daerah Rungkut, Surabaya dengan besar penurunan sebesar 27.9 mm/tahun. Hal ini dikarenakan daerah ini memiliki aktivitas industri yang sangat padat, sehingga menyebabkan laju penurunan yang relatif besar. Untuk itu penelitian yang lebih efisien tentu diperlukan untuk pembangunan dan perkembangan kota Surabaya yang lebih baik.

Tabel 2.4 Hasil Penelitian *Land Subsidence* di Kota Surabaya Menggunakan *GPS*
(Sumber: Handoko, 2011)

Titik <i>GPS</i>	Penurunan	Lokasi
	(mm/tahun)	
KOTA	-12.0	Tugu Bambu Runcing Jl.Sudirman
RUKT	-27.9	Rungkut Industri
WARU	-6.7	Bundaran Wadu
KJRN	-3.2	Polsek Kenjeran
KLNK	-10.7	Koramil Kalianak Krembangan

2.11 Penelitian Lainnya Terkait Pengamatan *Land Subsidence* Menggunakan Metode *DInSAR*

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian *land subsidence* menggunakan metode *DInSAR* telah dilakukan diberbagai kota besar di Indonesia, salah satunya di kota Semarang. Dimana untuk daerah Semarang diperoleh nilai besaran penurunan muka tanah kota Semarang dalam periode waktu 2007-2009 sebesar 8.7 – 305.0 mm dan laju penurunan

muka tanah kota Semarang dalam periode waktu 2007-2009 sebesar 7.8 mm/tahun –141.3 mm/tahun. Kecamatan yang mengalami penurunan muka tanah terbesar terjadi di Kecamatan Semarang Utara sebesar 141.3 mm/tahun (2007-2008); 133.7 mm/tahun (2008-2009); dan 135.9 mm/tahun (2007-2009).

Wilayah yang mempunyai batuan pembentuk tanah jenis endapan alluvial (Tugu, Semarang Barat, Genuk, Pedurungan, Gayamsari, Semarang Timur, Semarang Tengah, dan Semarang Selatan) mengalami laju penurunan muka tanah yang relatif besar dibandingkan dengan wilayah yang mempunyai batuan pembentuk tanah jenis lainnya. Standar deviasi perbandingan hasil pengolahan teknik *DInSAR* dengan teknik *levelling* sebesar 12.17 mm (Saputro, 2009).

Metode *DInSAR* belum memiliki akurasi yang lebih akurat jika dibandingkan dengan metode *GPS*. Namun metode ini mampu mendeteksi fenomena deformasi ataupun *land subsidence* secara general dengan cakupan area yang luas dan dengan waktu yang efisien.

Sedangkan penelitian di luar negeri yaitu penelitian menggunakan metode *differential SAR interferometri (DInSAR)* tentang penurunan tanah sebagai konsekuensi dari pengembangan panas bumi skala besar telah diamati dan dipelajari di berbagai bidang panas bumi seluruh dunia (misalnya Allis, 2000; Carnec dan Fabriol, 1999; Lubanget al.2007; Mossop dan Segall, 1997; Fialko dan Simons,2000; Keidinget et al.2009).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah kota Surabaya. Kota Surabaya terletak pada $7^{\circ} 9' - 7^{\circ} 21'$ LS dan $112^{\circ} 36' - 112^{\circ} 57'$ BT dengan batas wilayah:

- Selatan : Kabupaten Sidoarjo
- Utara : Selat Madura
- Timur : Selat Madura
- Barat : Kabupaten Gresik

Luas wilayah Kota Surabaya adalah 52,087 hektar, dengan luas daratan 33,048 hektar atau 63.45% dan luas wilayah laut dikelola oleh Pemerintah Kota sebesar 19,039 hektar atau 36.55% administratif Surabaya terbagi atas 31 Kecamatan atau 5 daerah bagian, yaitu Surabaya Timur, Surabaya Barat, Surabaya Selatan, Surabaya Utara, dan Surabaya Pusat (Peta Administrasi Kota Surabaya, 2012).



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian Kota Surabaya
(Sumber : lh.surabaya.go.id, 2015)

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah :

1. Tiga citra satelit *ALOS PALSAR (Level 1.0)* dengan *mode polarisasi FBS (Fine Beam Single)* dengan akuisisi data dengan rentang waktu Januari 2009 sampai Maret 2011. Citra satelit ALOS PALSAR bekerja pada panjang gelombang 23.6 cm (L band) yang dapat menembuss *canopy* sehingga cocok untuk mengetahui terjadinya *land subsidence* kota Surabaya menggunakan metode *DInSAR*.

Tabel 3.1 Data *ALOS PALSAR*
(Sumber : Japan Space System, 2012)

No.	ID_Scene	Tanggal	Level	Mode <i>Polarization</i>	Arah
1	0000027395_005 001_ALPSRP163 747040	19 Februari 2009	1.0	<i>FBS (Fine Beam Single)</i>	<i>Ascending</i>
2	0000027395_004 001_ALPSRP210 717040	7 Januari 2010	1.0	<i>FBS (Fine Beam Single)</i>	<i>Ascending</i>
3	0000027395_002 001_ALPSRP264 397040	10 Januari 2011	1.0	<i>FBS (Fine Beam Single)</i>	<i>Ascending</i>

2. *DEM SRTM* 30 meter (<https://Ita.cr.usgs.gov>, 2000).
3. Data koordinat hasil pengukuran *GPS* kota Surabaya tahun 2009 – 2011 (Kurniawan, 2011).
4. Data sebaran titik air bawah tanah (BAPPEKO Surabaya, 2009).
5. Data geologi kota Surabaya (BAPPEKO Surabaya, 2009).

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Perangkat Keras (*Hardware*)

- *Notebook* digunakan untuk seluruh proses pengolahan data dan penulisan laporan.
2. Perangkat Lunak (*Software*)
- Sistem Operasi *Ubuntu 14.04 LTS* digunakan untuk menjalankan *software GMT* dan *GMTSAR*.
 - Sistem Operasi *Windows 7* digunakan untuk pendukung pengolahan data dan pembuatan laporan.
 - *GMT 5* digunakan untuk *plotting* and *coding* hasil pengolahan data SAR.
 - *GMTSAR* digunakan untuk pengolahan data SAR.
 - *Global Mapper* digunakan untuk mengubah koordinat dari data *DEM* format *bil* menjadi koordinat yang sesuai dengan koordinat citra radar (*.dem*).

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Tahapan Penelitian

Mengacu pada gambar 3.2 terdapat 4 tahapan penelitian yang dilakukan, meliputi :

a. Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan dilakukan beberapa tahap kegiatan, yaitu sebagai berikut:

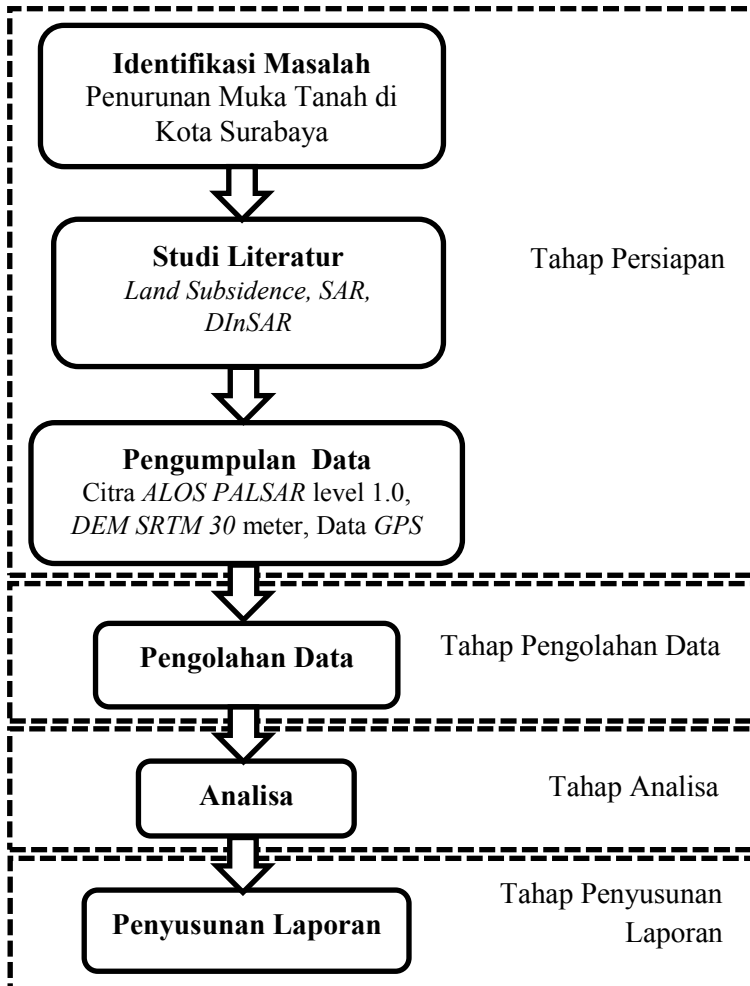
i. Identifikasi Masalah

Tahapan ini merupakan tahap awal dalam penelitian ini. Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana cara mengetahui *land subsidence* di daerah kota Surabaya akibat penggunaan air tanah yang berlebihan beserta faktor lainnya pada tahun 2009 – 2011 dengan menggunakan data *ALOS PALSAR* dengan teknik *DInSAR*.

ii. Studi Literatur

Studi literatur ini bertujuan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan *land subsidence* di kota Surabaya, teknologi radar, *Interferometry SAR*, teknik pengolahan SAR dengan metode *Two Pass*

DInSAR, dan literatur lain yang mendukung baik dari buku, jurnal, majalah, internet, dan lain sebagainya.



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Penelitian (2016)

iii. Pengumpulan Data

Untuk memperlancar proses pengolahan data, maka data yang diperlukan harus dikumpulkan terlebih dahulu. Dalam hal ini, data yang dibutuhkan meliputi citra satelit *ALOS PALSAR HH level 1.0*, beserta data pendukung lainnya untuk analisa serta uji validasi.

b. Tahap Pengolahan Data

Dalam tahap pengolahan ini, data *ALOS PALSAR* di proses terlebih dahulu untuk menghasilkan citra format *Single Look Complex (SLC)*, untuk kemudian dilakukan koregistrasi antara dua data *SAR* dengan waktu pengambilan data yang berbeda sehingga menghasilkan data *interferogram*.

Karena *interferogram* masih mengandung efek topografi, maka diperlukan data *DEM SRTM 30* meter untuk melakukan proses penghapusan topografi.

c. Tahap Analisa

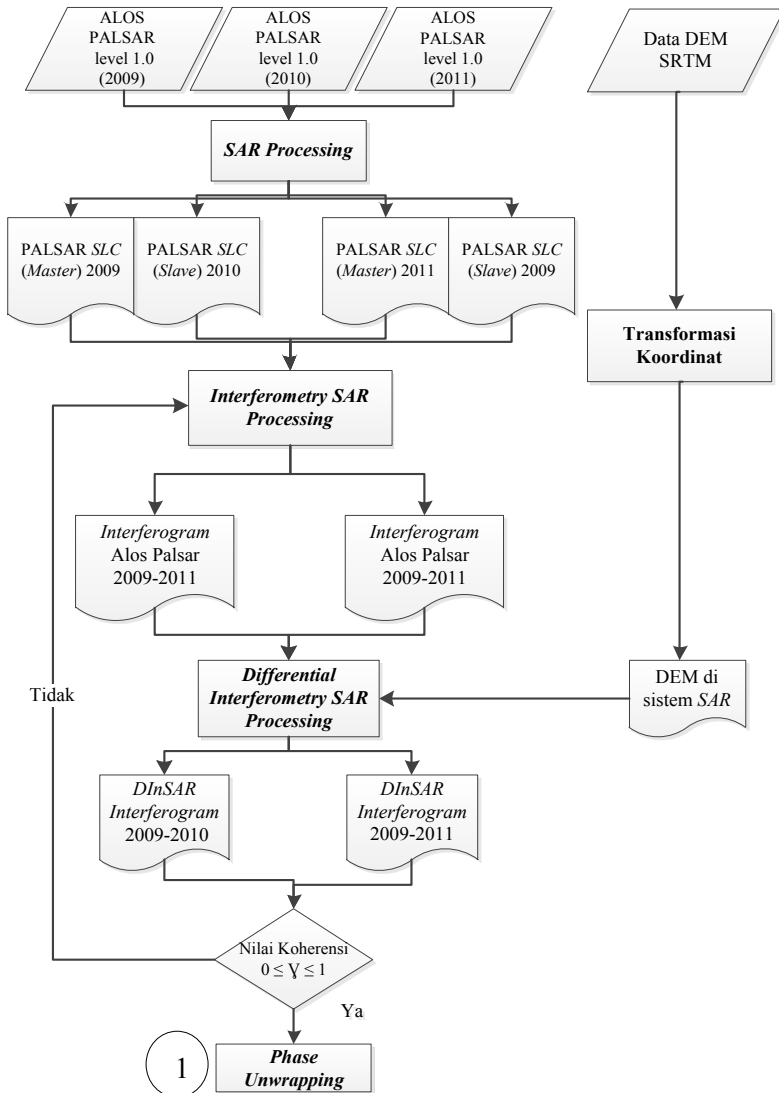
Dilakukan perbandingan nilai penurunan muka tanah dari hasil penelitian ini dengan penelitian lain terkait penurunan muka tanah di kota Surabaya.

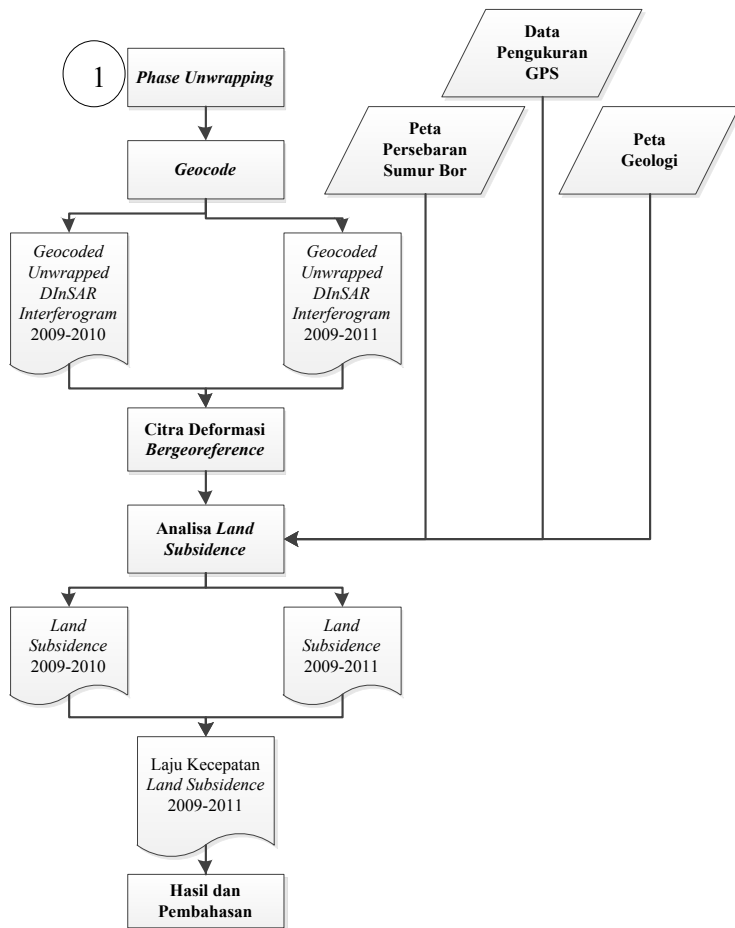
d. Tahap Penyusunan Laporan

Tahap penyusunan laporan merupakan tahapan akhir dari penelitian Tugas Akhir ini.

3.3.2 Tahap Umum Pengolahan SAR

Tahap-tahap dalam melakukan proses pengolahan data *SAR* dapat dilihat pada gambar 3.3.





Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data SAR (2016)

Berikut penjelasan dari diagram alir pengolahan data SAR :

a. Data

Dalam penelitian ini digunakan data citra satelit *ALOS PALSAR* pada tanggal 19 Februari 2009, 7 Januari 2010,

10 Januari 2011. Berdasarkan proses pengolahannya, terdapat 2 pasang citra SAR (2009-2010) dan (2009-2011). Terkait menggunakan metode *two-pass interferometric* diperlukan data *DEM SRTM 30* digunakan untuk mereduksi efek topografi sehingga deformasi dari *interferogram* pasangan citra dapat diamati.

b. *SAR Processing*

Merupakan suatu tahap pembentukan *Single Look Complex (SLC)*, dimana tahap tersebut digunakan untuk membentuk susunan grid yang teratur dan memiliki nilai kompleks atau nilai fasor yang meliputi amplitudo dan fase (ϕ). Proses ini dilakukan agar citra terkalibrasi secara radiometrik pada masukan sensornya. Proses yang dilakukan dalam tahap ini yaitu:

i. Membaca parameter – parameter *SAR*

Parameter dari *ALOS PALSAR* berformat raw data antara lain data fisik sensor *SAR* seperti orbit satelit, frekuensi sensor, *bandwidth*, dan antena.

ii. *Processing Sinyal Radar*

Meliputi tahap estimasi spektrum, *Doppler Computation*, dan *filtering* sinyal radar. Proses ini dilakukan untuk menghitung parameter orbit yang didapatkan dari posisi dan kecepatan satelit dari bacaan parameter yang sudah ada sebelumnya. Ketelitian orbit sangat berpengaruh terhadap sinyal radar yang digunakan, terutama mengenai informasi arah lintasan range dan azimuth.

iii. *Range dan Azimuth Compression*

Range merupakan gambaran dari transmisi pulsa radar yang digunakan sebagai *filter* korelasi dari setiap baris data *SAR*. Selanjutnya *Azimuth Compression* yang mana melakukan perhitungan pergeseran fase dari target ketika satelit bergerak.

c. *InSAR Processing*

Tujuan dari proses ini adalah membentuk *raw* citra *interferogram* dari sepasang data *SLC* yang terdiri dari *master* dan *slave*, dalam penelitian ini dilakukan pemilihan data *master* dan *slave* sebagai berikut :

- i. Pengolahan 1 : citra tahun 2009 (*master*) dan citra tahun 2010 (*slave*)
- ii. Pengolahan 2 : citra tahun 2010 (*master*) dan citra tahun 2011 (*slave*)

Citra *raw interferogram* merupakan citra beda *phase* antara citra *master* dan *slave*. Proses ini berhubungan langsung dengan bentuk topografi namun masih terdapat unsur deformasi, khususnya *land subsidence*, *noise*, dan atmosfer. Pada tahap ini dilakukan:

- i. Pencarian area tampalan dan parameter (*offset*)

Bertujuan untuk menentukan parameter transformasi affine antara citra 1 (*master*) dengan citra 2 (*slave*) melalui pencarian *patch* area atau area tampalan dari kedua citra kompleks melalui puncak korelasi amplitudo.

- ii. *Resample parameter*

Dilakukan penentuan bidang *offset* dengan menampalkan bidang citra kompleks 2 (*slave*) ke bidang citra kompleks 1 (*master*) dengan parameter transformasi affine yang telah ditentukan sebelumnya.

- d. *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) Processing*

Dalam pengolahan citra *ALOS PALSAR* ini, untuk menghapus efek topografi digunakan metode *two-pass differential interferometry*. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa citra *interferogram* dan *interferogram SRTM 30 DEM*. Data *interferogram SRTM 30 DEM* yang digunakan dalam pengolahan ini adalah *SRTM* didapatkan dari hasil generalisasi dalam *amplitude* dan *phase* yang selanjutnya dimodelkan menjadi data pengamatan *SAR*.

DInSAR processing merupakan proses pendataran, penghapusan topografi dan *image filtering*. Hal ini dikarenakan dalam citra *interferogram* masih mengandung unsur deformasi, noise, dan atmosfer akibat pencitraan kesamping. Berikut proses pemodelan *DEM* diresample ke dalam sistem koordinat citra *master* :

- i. Proses Pendataran (*flattening*)
Proses pendataran (*flattening*) dibutuhkan untuk menggambarkan *interferogram* (beda fase) dari topografi daerah yang diteliti, maka perlu dilakukan pendataran kedalam bidang proyeksi 2 dimensi (2D).
- ii. Penentuan Panjang *Baseline*
Panjang *baseline* digunakan untuk menemukan daerah yang bertampalan antara data citra *interferogram* dengan data *SRTM DEM* yang telah disimulasikan ke dalam geometri citra *master*.
- iii. Penghapusan Topografi
Bertujuan untuk menghapus efek topografi yang terdapat pada *interferogram* hasil dari dua pasang citra.
- iv. *Image Filtering*
Menurut ESA, 2010 akibat adanya proses penjalaran sinyal yang kembali ke medium udara atau atmosfer, maka dilakukan proses menaikkan nilai *Signal Noise Ratio* (SNR) yang masih terkandung dalam *interferogram*.
- e. Nilai Koherensi
Hasil *DInSAR processing* memiliki nilai koheren. Batas nilai koherensi hasil dua data citra yang digabungkan yaitu antara 0 sampai 1. Jika citra 1 dan citra 2 benar-benar identik, maka $\gamma = 1$ (koherensi terbesar). Minimal nilai koherensi yang baik yaitu 0.2 sedangkan 1 menunjukkan bahwa kedua data *SAR* identik.
- f. *Phase Unwrapping*
Informasi pada citra *interferogram* hasil pengolahan *DInSAR processing* masih terbatas satuan radian (satuan

phase sudut), yaitu antara $-\pi$ sampai π , sehingga menimbulkan masalah ambiguitas. Untuk mengatasi ambiguitas ini adalah dengan melakukan *phase unwrapping*. Untuk mendapatkan citra deformasi yang memiliki nilai dalam satuan metrik, maka harus dilakukan proses *unwrapping* dan merubah satuan sudut *phase* absolut menjadi satuan metrik. Nilai metrik diperoleh dari rumus *displacement of the earth's surface* sepanjang sensor *Line of Sight (LOS)*, yaitu:

$$\Delta r_{disp} = \frac{\lambda}{4\pi} \Delta \phi \quad (3.1)$$

Nilai λ merupakan panjang gelombang citra *ALOS PALSAR* yaitu 23.6 cm sedangkan $\Delta \phi$ adalah nilai perbedaan *phase* (Rott et al, 1999).

g. *Post-processing*

Tahapan akhir sesudah proses *unwrapping* adalah proses *geocoding* dimana akan diperoleh citra *interferogram* yang sudah *bergeoreference*, artinya posisi suatu piksel pada koordinat citra radar memiliki koordinat di permukaan bumi atau model deformasi posisinya sudah diketahui di permukaan bumi. Proses *geocoding* menggunakan *SRTM* 30 meter.

h. *Analisa Land Subsidence*

Pada tahap analisa dilakukan perbandingan besar deformasi dari hasil penelitian ini dengan penelitian lain terkait penurunan muka tanah di kota Surabaya.

3.3.3 Pengolahan SAR dengan GMTSAR

GMTSAR (Generic Mapping Tools Synthetic Aperture Radar) merupakan suatu *software open source (GNU General Public Licence)* yang dapat digunakan untuk melakukan penelitian terkait area topografi dan perubahan muka tanah melalui aplikasi teknologi geodesi *InSAR*. *Software GMTSAR* dapat dijalankan

dalam *platform* apa saja yang telah terpasang *software GMT* dan *NetCDF*. Program ini dapat diunduh dari <http://topex.ucsd.edu/gmtsar>. Sedangkan untuk data orbit citra satelit dapat diunduh dari <http://topex.ucsd.edu/gmtsar/tar/ORBITS.tar>. Untuk citra satelit *ALOS PALSAR* tidak memerlukan data orbit satelit. Dalam penelitian ini *software GMTSAR* versi 5, dengan *software* pendukung sebagai berikut :

Tabel 3.2 *File Driver GMT5SAR*

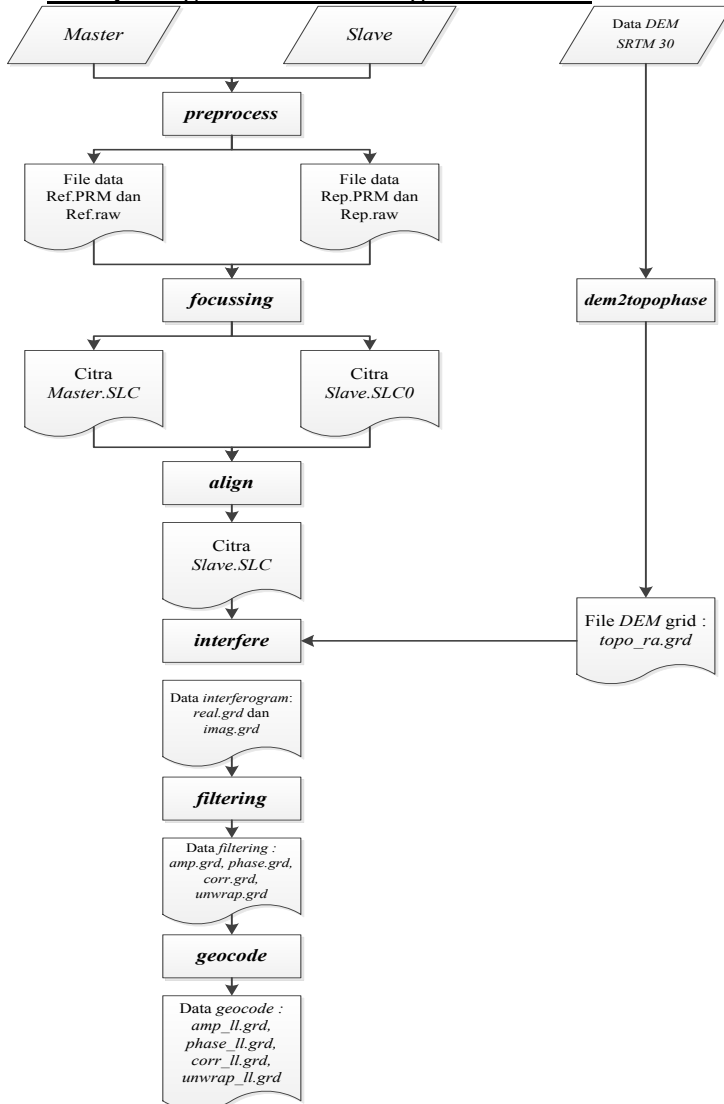
(Sumber : <http://gmt.soest.hawaii.edu/projects/gmt5sar/wiki>)

No.	File Name
1	gmt-5.2.1
2	netcdf-4.4.0
3	gshhg-gmt-2.3.4.tar.gz
4	dcw-gmt-1.1.2.tar
5	ORBITS.tar

Pembuat *software* tersebut adalah David Sandwell, Rob Mellors, Xiaopeng Tong, Meng Wei, dan Paul Wessel. Semula bahasa pemrograman yang digunakan adalah Fortran kemudian ubah menjadi bahasa C agar dapat dijalankan di berbagai *platform*. Terdapat tiga komponen utama:

1. *Preprocessor*, digunakan untuk mengkonversi format data CEOS ke format data turunan.
2. *InSAR processor*, melakukan pengolahan *InSAR* seperti memfokuskan dan menata citra, mengkonversi data topografi menjadi data *phase*, dan membentuk *interferogram* kompleks.
3. *Postprocessor*, mayoritas menggunakan *GMT* seperti *memfilter interferogram*, membentuk produk *interferometric phase*, koherensi, beda *phase*, pergeseran *LOS* dalam sistem koordinat radar dan geografis. *GMT* digunakan untuk menampilkan semua produk tersebut dalam *postscript* dan citra *kml* untuk *Google Earth*.

3.3.4 Tahap Pengolahan Citra dengan GMTSAR



Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan GMTSAR (2016)

Berikut penjelasan tahap-tahap pengolahan data *SAR* dengan *GMTSAR* :

a. Tahap *preprocess*

Fungsi tahap *preprocess* adalah untuk memperoleh informasi orbit dan mengetahui parameter *ascii file* yang memuat parameter *InSAR processing* dengan mengekstrak *orbital satellite* dan kecepatan dari *leader *.LED, image alignment*, dan mengekstimasi *Doppler centroid* dari data *raw* yang terdapat dari masing-masing *SAR*. Hasil dari tahap ini di dapatkan file **.PRM* dan **.raw* untuk masing-masing data *SAR*. Tahap *preprocess* dilakukan melalui komen *pre_proc.csh* pada terminal. Dimana hasil parameter *preprocess* lihat pada lampiran 1. Berikut perintah yang digunakan:

```
awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-2010$ pre_proc.csh
awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-2010$ pre_proc.csh ALOS IMG-HH-ALPSRP163747040-H1.0_A IMG-HH-ALPSRP210717040-H1.0_A
```

b. Tahap *focus* dan *align*

Pada tahap ini diawali dengan proses *focusing*. Proses *focusing* pertama dilakukan pada data master, selanjutnya proses *focusing* kedua dilakukan pada data *slave*. Hasil tahap *focus* berupa citra file **.SLC* dari masing-masing data *SAR*.

Setelah proses *focusing* selesai dilakukan, kemudian dilanjutkan proses *align.csh* dimana pada proses ini dilakukan *refocus* pada citra *slave*. Fungsi dari tahap *align* adalah mencari area tampalan dan parameter yang diperoleh dari tahap *preprocess* oleh citra *master* dan *slave*. Selain file **.SLC*, pada tahap ini akan diperoleh file yang memuat informasi hasil koregistrasi (*x.corr*), *file junk.PRM*, dan *file tmp.sarp*. Berikut perintah yang digunakan :

```

awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-
2010$ align.csh
awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-
2010$ align.csh ALOS IMG-HH-ALPSRP163747040-
H1.0 _A IMG-HH-ALPSRP210717040-H1.0 _A

```

c. Tahap Transformasi Koordinat (*topo_ra*)

Tahap transformasi koordinat (*topo_ra*) dilakukan melalui komen *dem2topo_ra.csh*. Pada tahap ini memerlukan data *DEM*, dimana jenis *DEM* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *DEM SRTM 30* meter yang memiliki sistem koordinat geografis. Namun dalam pengolahan data *SAR* di *software GMTSAR* ini menggunakan data dalam sistem koordinat radar, maka dilakukan proses transformasi koordinat data *DEM* dari sistem koordinat geografis ke sistem koordinat radar. Selain itu penghitungan beda *phase* pada *interferogram* yang akan dihasilkan akan memberikan hasil yang lebih baik apabila proses pengurangannya berada dalam sistem koordinat radar.

Dalam tahap ini dilakukan proses transformasi data *DEM* menjadi file *.dem menggunakan *software Global Mapper* yang memiliki koordinat radar (*range* dan *azimuth*). Hasil dari tahapan ini adalah:

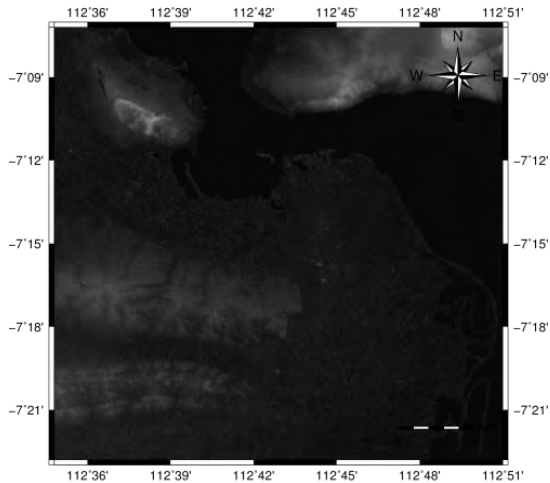
- i. data *topo_ra.grd*, merupakan koordinat range dan azimuth dalam sistem radar.
- ii. *topo_ra.ps*
- iii. data *trans.dat*, merupakan koordinat sekutu antara radar dan *DEM* yakni koordinat *range*, *azimuth* dan koordinat geografis.
- iv. *gmt.conf*, dan *gmt.history*

Berikut perintah yang digunakan dalam proses transformasi koordinat :

```

awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-
2010$ dem2topo_ra.csh
awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-
2010$ dem2topo_ra.csh IMG-HH-ALPSRP163747040-
H1.0__A.PRM surabaya.dem.

```



Gambar 3.5 *DEM SRTM* Berkoordinat Geografis

d. Tahap *interfere*

Tahap *interfere* merupakan tahap membuat citra interogram dari hasil sepasang citra *SAR* (*master* dan *slave*) dan sekaligus dilakukan proses pengurangan efek topografi secara bersamaan dengan menggunakan data *DEM* yang digunakan. Pada tahap ini akan menghasilkan 2 file yaitu *imag.grd* dan *real.grd*. Berikut perintah yang digunakan:

```

awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-
2010$ intf.csh
awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-
2010$ intf.csh IMG-HH-ALPSRP163747040-
H1.0__A.PRM IMG-HH-ALPSRP210717040-H1.0__A.PRM -
topo topo_ra.grd

```

e. Tahap *filtering*

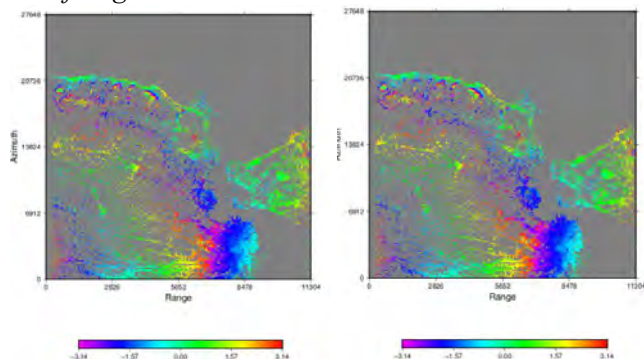
Tahap *filtering* digunakan untuk menaikkan nilai *signal noise ratio (SNR)* yang terdapat pada *interferogram*. Jenis *filtering* yang digunakan oleh *GMTSAR* adalah metode Gaussian. Terdapat beberapa jenis filter yang bervariasi dari 100 m hingga 700 m.

Dalam pengolahan data *SAR* ini digunakan jenis *filter* Gaussian 300 m dengan jenis hasil data *filter* (1) *better resolution*. Berikut perintah yang digunakan:

```
awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-
2010$ filter.csh
awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-
2010$ filter.csh IMG-HH-ALPSRP163747040-
H1.0__A.PRM IMG-HH-ALPSRP210717040-H1.0__A.PRM
300 1
```

Hasil dari tahapan ini ada tiga jenis, yaitu:

- data *display_amp.grd* dan *display_amp.ps*, merupakan citra *interferogram amplitude*.
- data *phase.grd* dan *phase.ps*, merupakan citra hasil pengolahan *interferogram phase*.
- data *corr.grd* dan *corr.ps*, merupakan citra *interferogram correlation*.



Gambar 3.6 *Interferogram Phase* (a) Sebelum *Filtering* dan (b) Setelah *Filtering*

f. Tahap *snaphu* (*unwrap processing*)

Citra yang diperoleh dari proses *interfere* dan *filtering* masih dalam satuan radian (satuan *phase* sudut) dalam rentang $-\pi$ sampai dengan π . Tahap *snaphu* dilakukan melalui komen *snaphu.csh*. Proses *unwrap* merupakan proses pemisahan atau *cropping* data sesuai data yang diperlukan. Data koordinat yang digunakan dalam proses *cropping* merupakan data koordinat dari nilai amplitudo hasil pengolahan citra SAR. Berikut perintah yang digunakan :

```
awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-2010$ snaphu.csh
awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-2010$ snaphu.csh .12 40 4000/9900/0/10000
```

g. Tahap *geocode*

Pada Tahap *geocode* dilakukan melalui komen *geocode.csh*. Dengan kemampuan *software GMT*, hasil tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk *phostscript* dan *kml Google Earth*. Walaupun telah bergeoreferensi, grid, skala, dan informasi lainnya belum ada. Untuk itu, *skill* menggunakan *GMT* perlu dilakukan sehingga diperoleh hasil yang artistik akan ditampilkan di bagian hasil. Berikut perintah yang digunakan :

```
awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-2010$ geocode.csh
awalina@awalina-Satellite-C840:~/Citra/2009-2010$ geocode.csh .12
```


BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Pengolahan Data SAR

4.1.1 Panjang *Baseline* dan Interval Waktu

Terjadinya fenomena *land subsidence* di kota-kota besar Indonesia, seperti di Jakarta, Semarang, dan Surabaya telah telah berdampak negatif terhadap perkembangan aktivitas masyarakat. Untuk *land subsidence* di kota Surabaya pada tahun 2007-2008 yaitu antara 11.83 mm – 18.68 mm dan diperkirakan relatif stabil di 3-10 tahun mendatang (Handoko, 2011).

Diperkirakan *land subsidence* yang terjadi di kota Surabaya pada tahun 2009-2011 cukup stabil sehingga tidak memerlukan data dengan jarak temporal yang terlalu dekat untuk mengamati perubahannya. Namun untuk memperoleh nilai koherensi pasangan citra yang baik, diperlukan jarak temporal yang tidak lebih dari 6 bulan dan panjang *baseline* yang tidak lebih dari 150 m (Ferreti, 2007). Semakin besar nilai dari jarak temporal dan panjang *baseline*, maka semakin kecil nilai koherensi, begitu juga sebaliknya.

Berdasarkan tahap *pre-process* menggunakan *software GMTSAR* diperoleh panjang *baseline perpendicular* dan jarak temporal sebagai berikut :

Tabel 4.1 *Baseline Perpendicular* dan Jarak Temporal

<i>ID_Scene</i>	Tanggal Perekaman	<i>Baseline Perpendicular</i>	<i>Baseline Temporal</i>
ALPSRP163747040	19 Februari 2009 –	-554.6613 m	322 hari
- ALPSRP210717040	7 Januari 2010		
ALPSRP163747040	19 Februari 2009 –	1220.8585 m	690 hari
- ALPSRP264397040	10 Januari 2011		

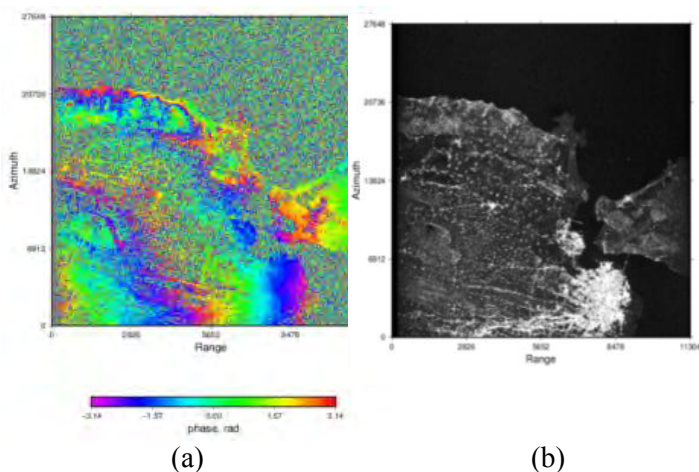
Tabel 4.1 menunjukkan panjang *baseline perpendicular* dan *baseline temporal* dari masing-masing pengolahan citra. Tanda negatif pada *baseline perpendicular* dari pasangan citra 2009-2010 dikarenakan citra master berada di tahun awal (2009),

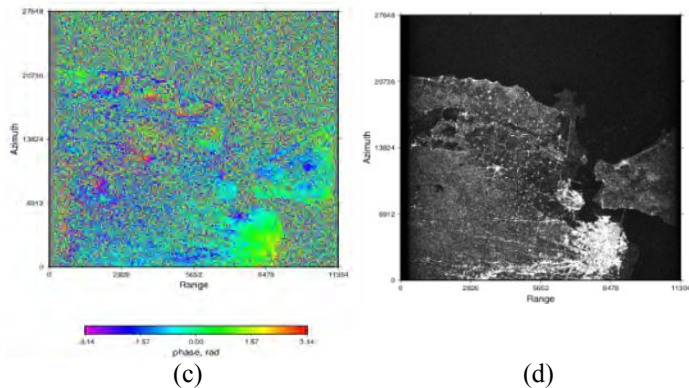
sedangkan tanda positif pada *baseline perpendicular* dari pasangan citra 2009-2011 dikarenakan citra master berada di tahun akhir (2011).

4.1.2 Interferogram Phase dan Amplitude

Metode *InSAR* memanfaatkan fungsi pengukuran *phase* untuk mendapatkan beda jarak dan perubahan jarak dari dua citra kompleks atau *SLC* pada permukaan yang sama. Dua data tersebut terdiri dari *master* (referensi) dan *slave*, keduanya diproses sehingga membentuk *interferogram* yang didalamnya berisi informasi *phase* dan *amplitude*. Namun, dengan menggunakan *software GMTSAR*, citra *SLC* tidak dapat ditampilkan.

Gambar 4.1 merupakan hasil *interferogram* yang telah dikurangkan dengan efek topografi yang berupa citra *phase* dan *amplitude* dalam sistem koordinat radar. Pengurangan efek topografi pada citra *interferogram* dilakukan dengan menggunakan data *DEM SRTM 30 meter*.

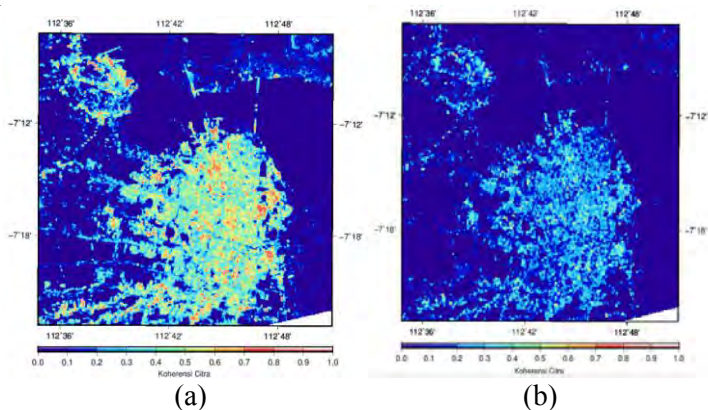




Gambar 4.1 Citra *Interferogram* Kota Surabaya (a) *Phase* Pasangan Citra 2009-2010, (b) *Amplitude* Pasangan Citra 2009-2010, (c) *Phase* Pasangan Citra 2009-2011, (d) *Amplitude* Pasangan Citra 2009-2011

4.1.3 Koherensi Citra SAR

Untuk mengetahui tingkat koherensi citra secara kualitatif dapat dilihat dari citra koherensi.



Gambar 4.2 *Interferogram* Citra Koherensi (a) Pasangan Citra 2009-2010, (b) Pasangan Citra 2009-2011

Pada gambar 4.2 *scalebar* berkisar antara 0 sampai 1, dimana citra koherensi memiliki tingkat koherensi yang tinggi, jika *scalebar* menuju kearah kanan (warna *pink*). Objek *water bodies* di bagian utara dan timur kota Surabaya akan menunjukkan warna *blue* dengan besar nilai koherensi 0 sampai 0.1. Hal ini disebabkan karena *water bodies* bergerak secara terus menerus secara konstan. Akibatnya rona warna citra koherensi yang didapat menuju rona gelap (*scalebar* bergerak ke arah kiri). Sedangkan pada bagian daratan, khususnya kota Surabaya memiliki nilai koherensi yang berbeda-beda, dimana dipetoleh nilai koherensi pasangan citra 1 yaitu 0-0.7, sedangkan pada pasangan citra 2 diperoleh nilai koherensi citra dengan kisaran 0-0.4. Adanya nilai koherensi 0 pada citra daerah daratan, dikarenakan banyaknya *noise* pada citra akibat panjang *baseline* yang terlalu besar.

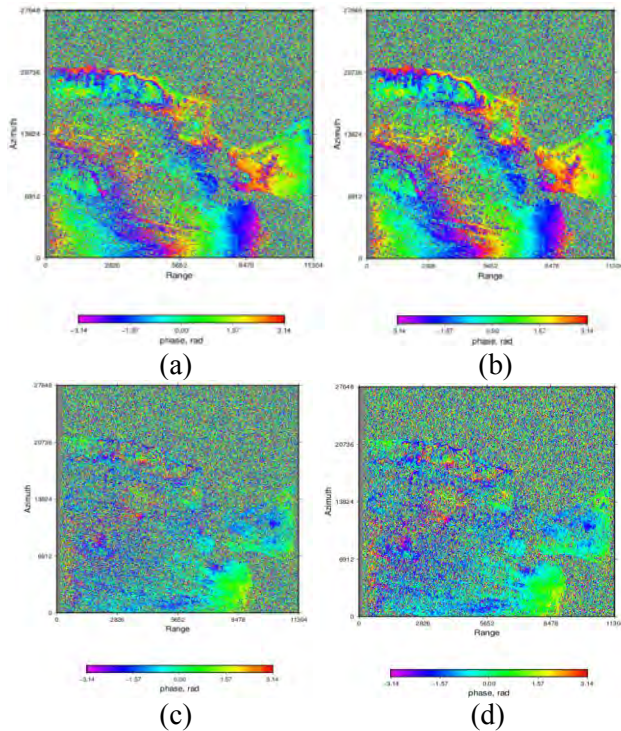
Selain faktor *baseline*, kota Surabaya juga merupakan daerah urban yang selalu mengalami perkembangan di segala sektor, terlebih adanya bangunan-bangunan baru yang mengakibatkan perubahan bentuk topografi yang nantinya akan berpengaruh terhadap proses koherensi antar citra. Selain berpengaruh terhadap perubahan topografi, banyaknya bangunan ini tentunya juga menambah nilai distorsi *layover* dari citra serta berpengaruh pada proses *backscattering*, sehingga menyebabkan rendahnya nilai koherensi.

4.1.4 Citra Interferogram Setelah Filtering

Adanya *noise* dan *atmosfer* sangat berhubungan dengan gangguan panas terhadap nilai *phase* yang diperoleh. Oleh karena itu dalam proses ini dilakukan proses *filtering*.

Filtering merupakan proses menaikkan nilai SNR (*Signal Noise Ratio*) yang terdapat pada *interferogram* dikarenakan pengaruh dari penjaralan sinyal kembali ke medium udara atau atmosfer. Tujuan utama dari proses *filtering* adalah mempertajam area yang nilai koherensinya masih relative besar. Pemfilteran citra *interferogram* dilakukan menggunakan

gauss_alos_300m yang merupakan *default* dari software GMTSAR.



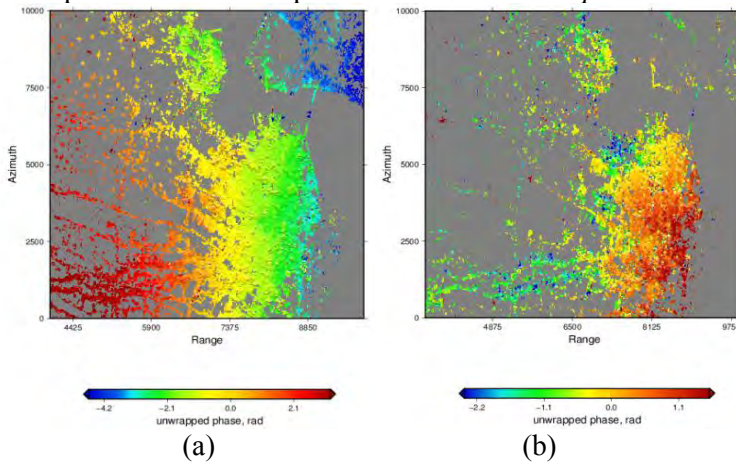
Gambar 4.3 Pasangan Citra 2009-2010 (a) *Interferogram* Sebelum *Filtering*, (b) *Interferogram* Setelah *Filtering*; Pasangan Citra 2009-2011 (c) *Interferogram* Sebelum *Filtering*, (d)) *Interferogram* Setelah *Filtering*

Berdasarkan gambar 4.3 terdapat perbedaan ketajaman *color* citra *interferogram* sebelum dan setelah melakukan *filtering*. Citra yang telah melakukan proses *filtering gauss* mampu memberikan hasil yang lebih baik dengan waktu yang relatif lebih cepat. Selain proses *filtering*, *software GMTSAR* mampu melakukan proses penghapusan efek sesuai nilai koherensi tertentu yang dipilih. Nilai *phase* dari kedua pasangan tersebut

masih dalam satuan *phase* (radian) dengan rentang $-\pi$ sampai π , sehingga menimbulkan ambiguitas dalam menghitung siklus *phase*. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, maka dilakukan proses *unwrapping*.

4.1.5 Citra *Interferogram* Setelah *Unwrapping*

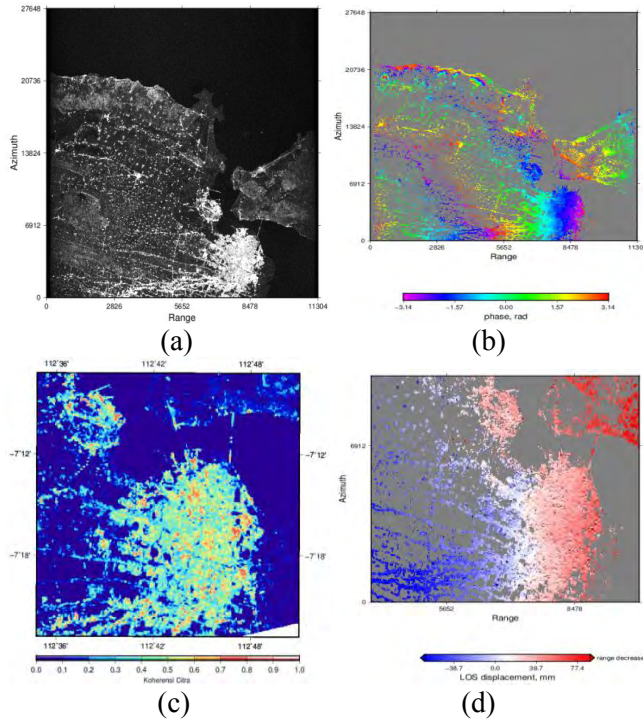
Proses *unwrapping* adalah proses untuk menghilangkan ambiguitas *phase* atau *noise* sehingga didapatkan *phase* yang absolut. Setelah citra *interferogram* di *unwrap* pola deformasi area dapat diketahui meskipun masih dalam satuan *phase*.



Gambar 4.4 *Interferogram* Setelah *Unwrap* (a) Pasangan Citra 2009-2010, (b) Pasangan Citra 2009-2011

4.1.6 *Interferogram* Setelah *Geocode*

Tahap akhir dalam pengolahan *DInSAR* adalah melakukan proses *georeference* terhadap citra *amplitude*, *phase* setelah *filtering* dan *masking*, koherensi, serta *phase* setelah *unwrap* atau *LOS*. Berikut merupakan *interferogram* setelah proses *geocode* pasangan citra 2009-2010 :

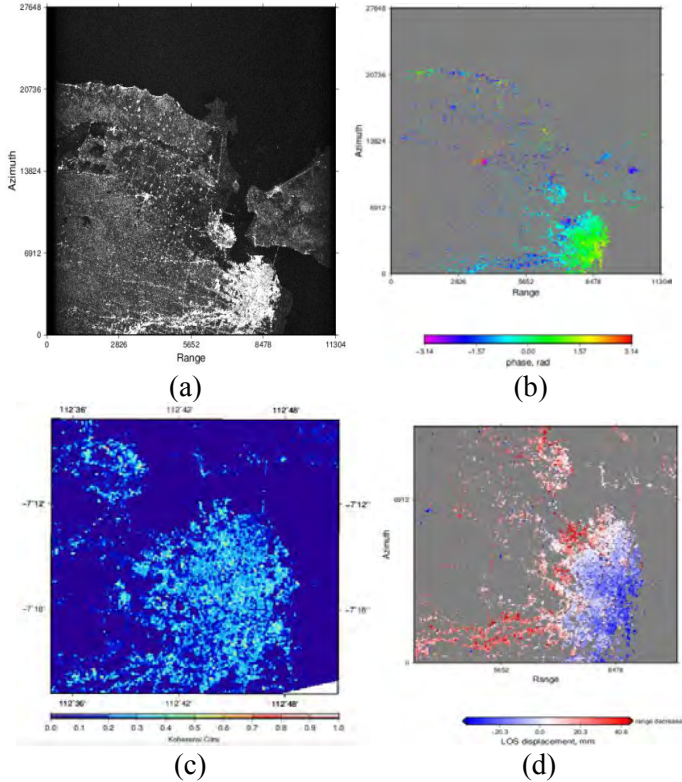


Gambar 4.5 Citra SAR yang Ber-Georeference Pasangan Citra 2009-2010 (a) *Amplitude*, (b) *Phase* Setelah *Filtering* dan *Masking*, (c) *Koherensi*, dan (d) *Phase* Setelah *Unwrap (LOS)*

Georeference dalam pengolahan citra SAR adalah proses pengubahan dari koordinat citra radar menjadi koordinat geografis. Untuk citra hasil *phase unwrapping* yang telah di-*georeferency* akan diperoleh nilai deformasi dalam satuan metrik, dengan menggunakan rumus *displacement of earth's surface* sepanjang sensor *Line of Sight (LOS)*, oleh (A.H. Ng, 2008) :

$$\Delta\phi_{defo} = \frac{4\pi\Delta R}{\lambda}$$

Dimana $\Delta\phi_{defo}$ adalah nilai beda *phase*, sedangkan λ merupakan panjang gelombang citra satelit ALOS PALSAR dengan nilai 23.6 cm (band L), dan ΔR merupakan beda jarak tempuh sinyal pada saat ditransmisikan R1 dan diterima radar R2. Berikut merupakan *interferogram* setelah proses *geocode* pasangan citra 2009-2011.



Gambar 4.6 Citra SAR yang Ber-Georeference Pasangan Citra 2009-2011 (a) *Amplitude*, (b) *Phase* Setelah *Filtering* dan *Masking*, (c) *Koherensi*, dan (d) *Phase* Setelah *Unwrap (LOS)*

4.2 Analisa Hasil Pengolahan DInSAR

Pada prinsipnya, perhitungan *surface displacement* memiliki ketelitian berkisar 2% - 5% dari panjang gelombang citra SAR yang dinyatakan dalam satuan milimeter sampai sentimeter (Massonnet, 1998). Kekuatan ketelitian metode tersebut dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya akurasi orbit antar dua satelit dan kondisi atmosfer yang mempengaruhi *phase delay*. Berikut merupakan analisa hasil pengolahan DInSAR berdasarkan faktor berikut :

4.2.1 Fringes pada Interferogram

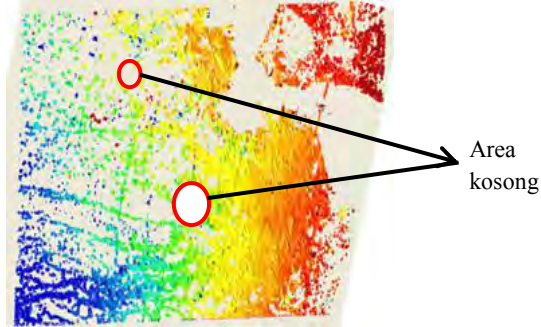
Beda *phase* antar dua pengamat akan menghasilkan *fringes*. *Fringes* terbentuk karena dua satelit orbit tidak sama persis. *Fringes* karena orbital dan topografi terjadi akibat perbedaan antara 2 orbit dan adanya perubahan topografi, sedangkan *fringes* akibat gangguan sinyal terjadi ketika gelombang melalui lapisan ionosfer dan troposfer. Karena *interferogram* banyak mengandung dekorelasi, maka untuk mendapatkan *fringes* deformasi yang terkoreksi, digunakan data DEM SRTM 30 meter untuk menghilangkan efek topografi.

Berdasarkan hasil pengolahan DInSAR menunjukkan bahwa pengaruh topografi sudah dihilangkan namun masih mengandung *fringes* akibat ionosfer. Hal tersebut dikarenakan ketinggian orbit satelit ALOS PALSAR (band L) berada lebih dari 220 km. Sedangkan pengaruh orbit tidak dapat dihilangkan karena informasi lintasan satelit sering memiliki *margin of error* lebih dari 100 meter (Geospatial Information Authority of Japan(GSI), 2014).

4.2.2 Faktor Geometri Daerah Pencitraan

Citra radar memiliki topografi beragam sehingga menyebabkan distorsi berupa *layover*, *shadow*, dan *foreshortening*. Hal ini dipengaruhi oleh *incidence angle* dari SAR dan juga *local slope* dari daerah yang dicitrakan. Pengaruh dari

nilai distorsi tersebut akan memberikan efek kepada proses *unwrapping* dan kembalinya sinyal pantul ke sensor radar, sehingga menyebabkan banyaknya area kosong di beberapa titik.



Gambar 4.7 Nilai *Phase Unwrap* yang Kosong

Banyaknya *blank unwrapping* pada studi kasus ini disebabkan dekorelasi atau ketidaksesuaian area akibat selisih jarak *baseline* dan temporal yang terlalu jauh. *Blank unwrap* juga terlihat pada daerah dataran tinggi atau pegunungan yang bersuhu rendah (dingin). Menurut studi korelasi *interferogram*, penyebab kosongnya informasi pada daerah tersebut berkaitan dengan suhu permukaan. Suhu permukaan rendah (dibawah titik beku) dapat menurunkan tingkat korelasi atau *low coherence* sehingga pada daerah yang bersuhu dingin akan berubah menjadi konstanta dielektrik (Tobita & dkk, 1998).

4.2.3 Estimasi Baseline dan Jarak Temporal

Penentuan panjang *baseline* merupakan faktor terpenting dalam mengukur besar *surface deformation* dengan teknik *DInSAR*. Begitu pula dengan jarak temporal dari akuisisi data citra *SAR* yang direkam dalam rentang waktu yang berbeda. Oleh karena itu dalam pemilihan citra perlu memperhatikan dua faktor tersebut. Berdasarkan perhitungan estimasi panjang *baseline perpendicular*, sepasang citra *SAR* tahun 2009-2010 memiliki panjang *baseline* sebesar -554.6613 m dan . *baseline* temporal sebesar 322 hari.

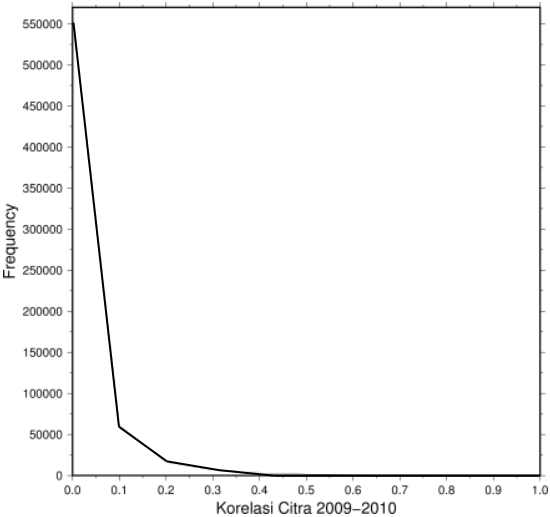
Sedangkan pada pasangan citra tahun 2009-2011 memiliki panjang *baseline* terjauh sebesar 1220.8585 m dan *baseline* temporal dari data yang digunakan terpaut 690 hari.

Semakin panjang *baseline perpendicular* antara pasangan citra *master* dan *slave*, maka tingkat koherensi akan terus menurun karena semakin jauh perbedaan posisi satelit dalam melakukan pencitraan maka nilai dari *incident angle* antar kedua posisi satelit juga akan semakin berbeda. Hal ini menyebabkan terjadinya *low coherence value*. Sedangkan semakin jauh jarak temporal dari dua data *SAR* akan menyebabkan dekorelasi temporal (ketidaksesuaian antara citra *master* dan *slave*). Dekorelasi temporal tersebut terjadi karena adanya perubahan pada topografi, vegetasi, serta gangguan atmosfer sehingga mengakibatkan perubahan pada karakteristik objek yang diamati.

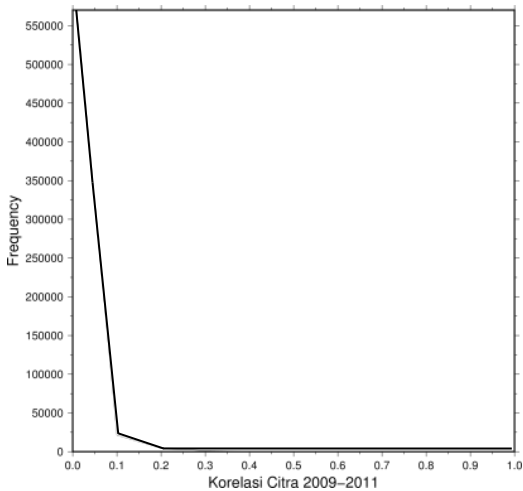
4.2.4 Nilai Koherensi

Hilangnya nilai piksel atau kosongnya informasi *displacement LOS* yang ditunjukkan pada hasil proses *unwrapped* disebabkan oleh rendahnya nilai koherensi pada kedua sata *SAR*. Disebutkan pada pembahasan sebelumnya bahwa nilai koherensi suatu citra berada antara 0-1. Dimana persyaratan yang diberikan oleh *European Space Agency (ESA)*, nilai minimum koherensi untuk pembentukan Model Tinggi Permukaan Dijital adalah 0.20. Penyebab utama *low coherence* yang terjadi pada data *SAR* di kota Surabaya ini yaitu karena jarak *baseline* yang cukup jauh yakni lebih dari ≤ 150 m. (Ferreti dkk, 2007).

Mengacu pada gambar 4.8 menjelaskan bahwa besar koherensi citra tahun 2009-2010 memiliki rata-rata nilai koherensi sebesar antara 0 - 0.1 dengan frekuensi sebanyak 560487 *point* yang terekam oleh citra *SAR*



Gambar 4.8 Grafik Koherensi Pasangan Citra 2009-2010



Gambar 4.9 Grafik Koherensi Pasangan Citra 2009-2011

Sedangkan pada gambar 4.9 menunjukkan grafik koherensi citra 2009-2011, dengan nilai berkisar antara 0 - 0.1, dengan frekuensi sebanyak 620009 *point* yang terekam citra SAR. Rendahnya nilai koherensi ini disebabkan oleh jarak *baseline* yang terlalu jauh sehingga mengakibatkan banyaknya piksel yang kosong setelah dilakukan proses *unwrap* pada citra SAR.

4.2.5 Nilai *Phase Unwrap*

Dalam proses *unwrapping* dilakukan perhitungan perbedaan *phase* pada *interferogram* dari satu titik ke titik berikutnya dan meng-generalisasinya menjadi perbedaan *phase* yang lebih halus. Apabila area relatif datar (tanpa atau perbedaan *phase jump* kecil antar titik), proses *unwrap* mudah untuk dilakukan. Akan tetapi jika area studi memiliki bentuk topografi yang beragam (perbedaan *phase jump* besar) maka proses *unwrap* akan sangat sulit dilakukan.

Besarnya nilai beda *phase* yang ditunjukkan pada hasil pengolahan masih dalam satuan π rad, maka untuk mendapatkan nilai perubahan dalam satuan sentimeter dilakukan perhitungan sesuai dengan for (*displacement of earth's surface* sepanjang sensor *Line of Sight* (LOS)). Setiap rentang 1.1π rad ALOS PALSAR yang direkam secara *ascending* mewakili perubahan permukaan berkisar -20.3 mm. Berikut merupakan nilai *displacement of Earth Surface LOS* berdasarkan hasil pengolahan menggunakan *software GMTSAR* yaitu :

Tabel 4.2 Nilai *Displacement LOS* Pasangan Citra 2009-2010

Nilai <i>Phase</i> (rad)	Nilai <i>Phase</i> (mm)	Nilai Pergeseran
2.1	-38.7	Naik (<i>uplift</i>)
0	0	Tetap
-2.1	38.7	Turun (<i>Subsidence</i>)
-4.2	77.4	Turun (<i>Subsidence</i>)

Berdasarkan tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai *phase* (satuan rad) berbanding terbalik dengan nilai *phase* (mm), dan nilai *phase*

(rad) berbanding lurus dengan nilai pergeseran. Hal ini dikarenakan pada proses pengolahan citra, citra master di tempatkan pada tahun sebelumnya (tahun 2009).

Tabel 4.3 Nilai *Displacement LOS* Pasangan Citra 2009-2011

Nilai <i>Phase</i> (rad)	Nilai <i>Phase</i> (mm)	Nilai Pergeseran
1.1	-20.3	Turun (<i>Subsidence</i>)
0	0	Tetap
-11	20.3	Naik (<i>uplift</i>)
-2.2	40.6	Naik (<i>uplift</i>)

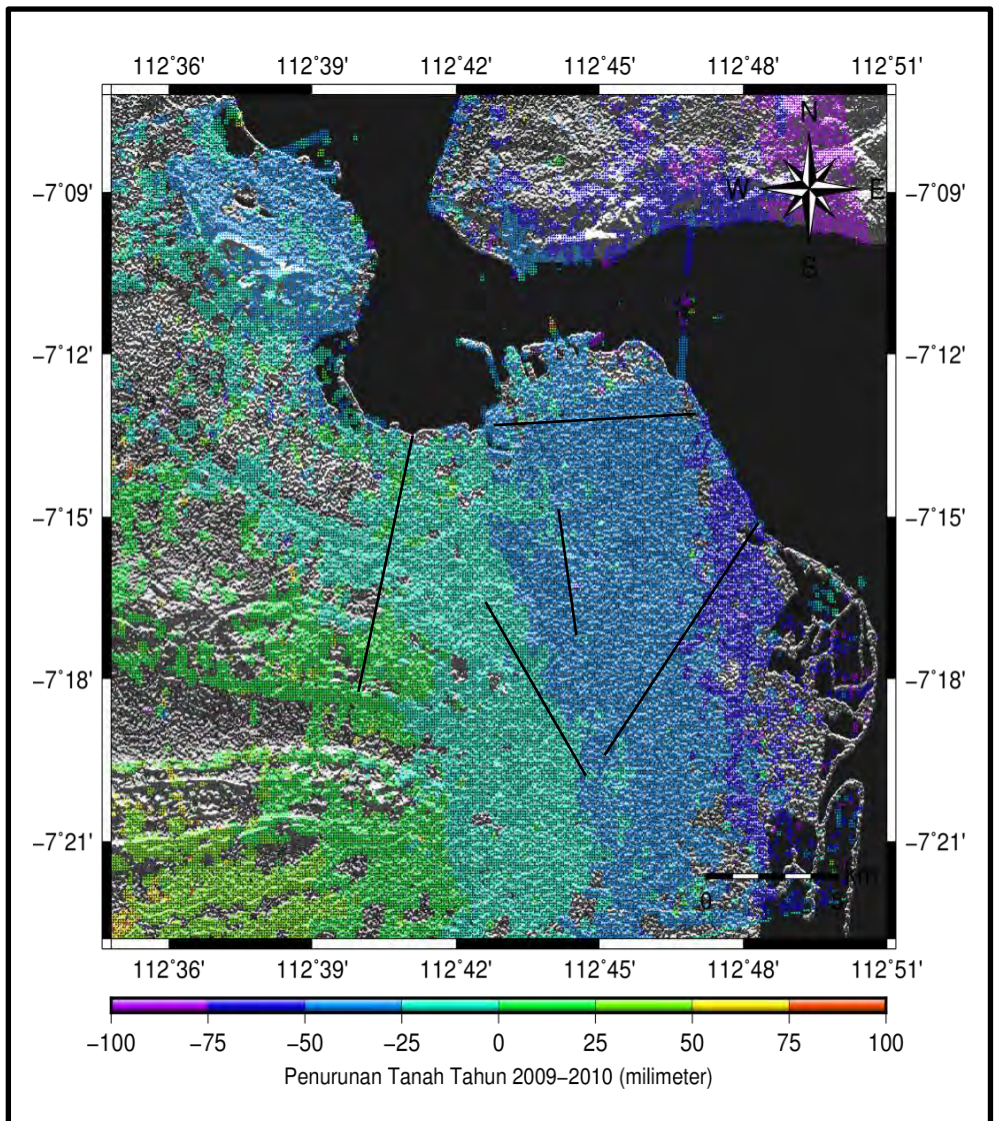
Berdasarkan tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai *phase* (satuan rad) berbanding terbalik dengan nilai pergeseran, sedangkan nilai *phase* (satuan mm) berbanding lurus dengan nilai pergeseran. Hal ini dikarenakan pada proses pengolahan citra, citra master ditempatkan pada tahun akhir (2011).

4.3 Analisa Besar Land Subsidence Area Studi

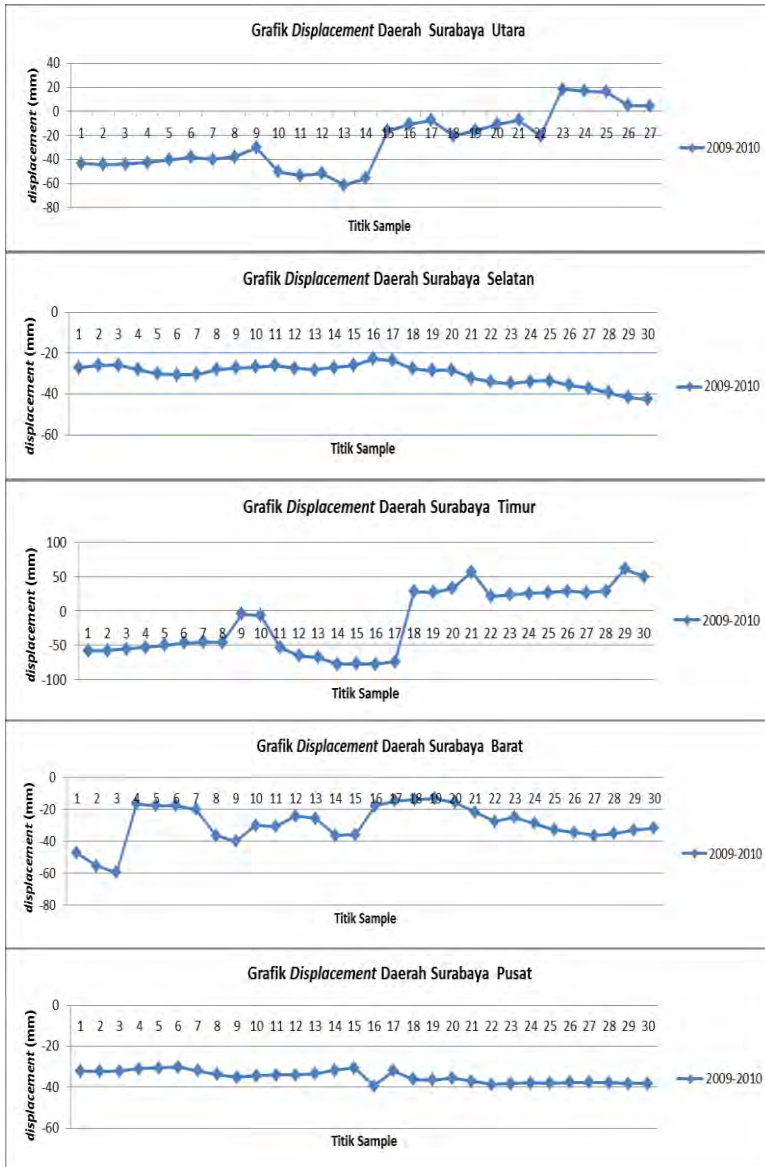
Untuk melihat sebaran *displacement LOS* yang terjadi di Surabaya bagian Utara, Selatan, Timur, Barat, dan Pusat, maka dilakukan *cross section* arau irisan melintang.

4.3.1 Analisa Besar Land Subsidence Tahun 2009-2010

Mengacu pada gambar 4.10 dan 4.11 merupakan peta sebaran *cross section* yang didapatkan dari hasil pengolahan citra *SAR* tahun 2009-2010 dan grafik besar *displacement LOS* (mm/tahun) yang dapat diamati di sepanjang *cross section*. Pengambilan *cross section* ini berdasarkan kondisi administratif kota Surabaya, sehingga digunakan 5 buah *cross section*.



Gambar 4.10 Peta *Cross Section* Pasangan Citra 2009-2010

Gambar 4.11 Grafik *Cross Section* Pasangan Citra 2009-2010

Besar nilai *displacement* baik *uplift* maupun *subsidence* yang terjadi di kota Surabaya berdasarkan batas administratif pada tahun 2009-2010.

a. Surabaya Utara

Secara administratif, kawasan Surabaya Utara terdiri dari Pabean Cantikan, Semampir, Krembangan, Bulak, dan Kenjeran. Nilai *displacement* hasil pengolahan menggunakan teknik *DInSAR* menunjukkan bahwa sepanjang *cross section* sebagian besar mengalami *subsidence*, dengan besar berkisar antara 0 sampai -60 mm/tahun. Titik yang mengalami *subsidence* terbesar berada di Kecamatan Bulak sebesar -60 mm/tahun.

b. Surabaya Selatan

Surabaya Selatan memiliki 7 Kecamatan, yaitu Wonokromo, Sawahan, Wonocolo, Jambangan, Gayungan, Wiyung, dan Dukuh Pakir (BAPPEKO, Surabaya). Secara umum rata-rata besar nilai *subsidence* di 7 kecamatan tersebut berkisar antara 0 sampai -25 mm/year. Dimana titik terbesar *subsidence* -25 mm/year berada di Kecamatan Wonokromo.

c. Surabaya Timur

Terdapat 7 Kecamatan yang terdapat di Surabaya Timur, yaitu Rungkut, Gunung Anyar, Tenggiling Mejoyo, Gubeng, Tambaksari, Sukolilo, dan Mulyorejo. Disepanjang *cross section* nilai *subsidence* berkisar -25 sampai -75 mm/tahun. Dimana titik terbesar *subsidence* -75 mm/year berada di Kecamatan Sukolilo bagian timur (mendekati pesisir).

d. Surabaya Barat

Secara administratif, kawasan Surabaya Barat terdiri dari 8 Kecamatan, yaitu Benowo, Tandes, Pakal, Sambikerep, Lakarsantri, Sukomanunggal, Asem Rowo, dan Karang Pilang. Kawasan ini dominan mengalami 2 jenis *displacement*, yaitu *subsidence* dan *uplift*. Kawasan yang mengalami *subsidence* terletak di Kecamatan Asem

Rowo, Benowo, Pakal, Tandes, dan Sukomanunggal dengan nilai *displacement* rata-rata sebesar 0 sampai -25 mm/tahun. Sedangkan kawasan yang mengalami *uplift* berada di Kecamatan Lakarsantri, Karang Pilang, dan Sambikerep dengan nilai *displacement* rata-rata sebesar 0 sampai 25 mm/tahun.

e. Surabaya Pusat

Surabaya Pusat memiliki 4 Kecamatan, yaitu Simokerto, Bubutan, Genteng, Tegalsari. Secara umum rata-rata besar nilai *subsidence* di 4 Kecamatan tersebut berkisar antara -25 sampai -50 mm/year.

4.3.2 Analisa Besar Land Subsidence Tahun 2009-2011

Mengacu pada gambar 4.12 dan 4.13 merupakan peta sebaran *cross section* dan grafik *cross section* yang didapatkan dari hasil pengolahan citra SAR tahun 2009-2011 dalam satuan *millimeter*.

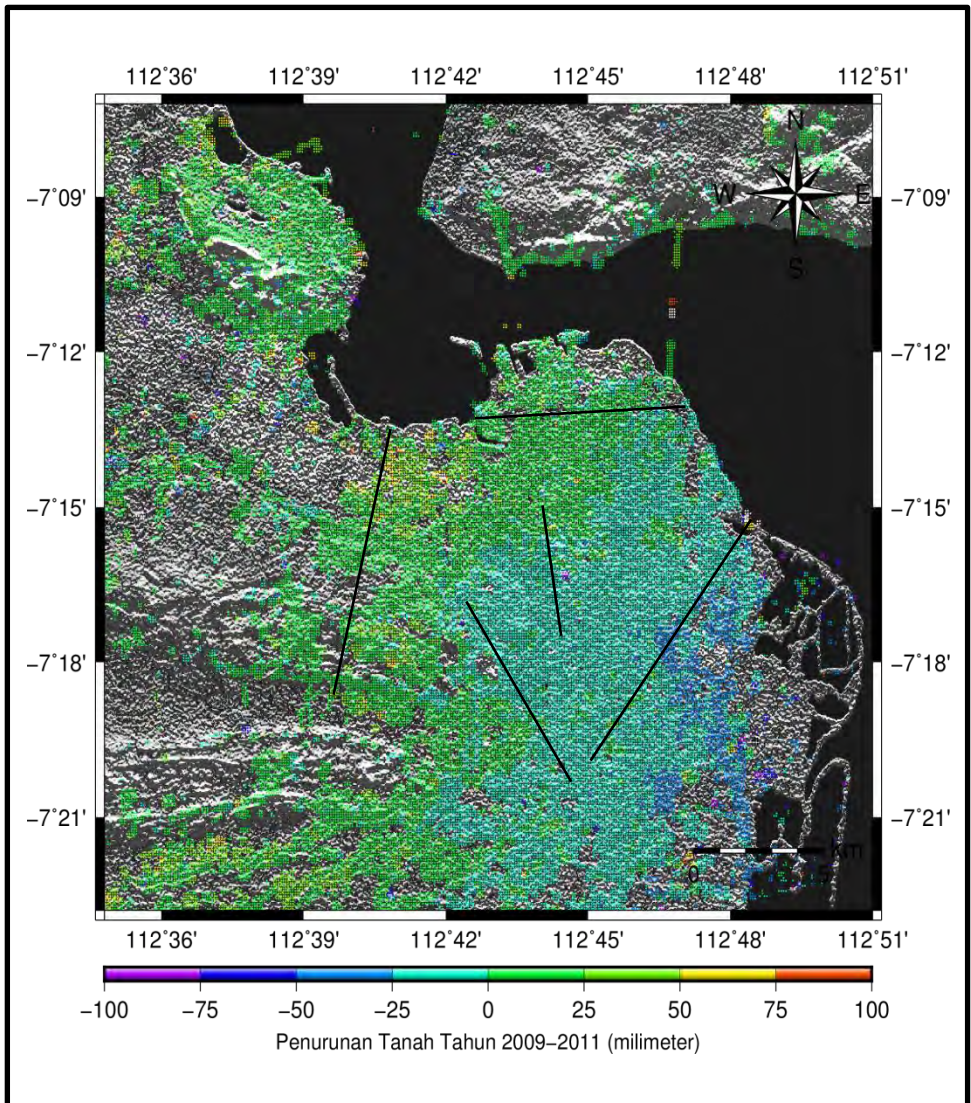
Besar nilai *displacement* yang terjadi di kota Surabaya berdasarkan batas administratif pada tahun 2009-2011 yaitu sebagai berikut :

a. Surabaya Utara

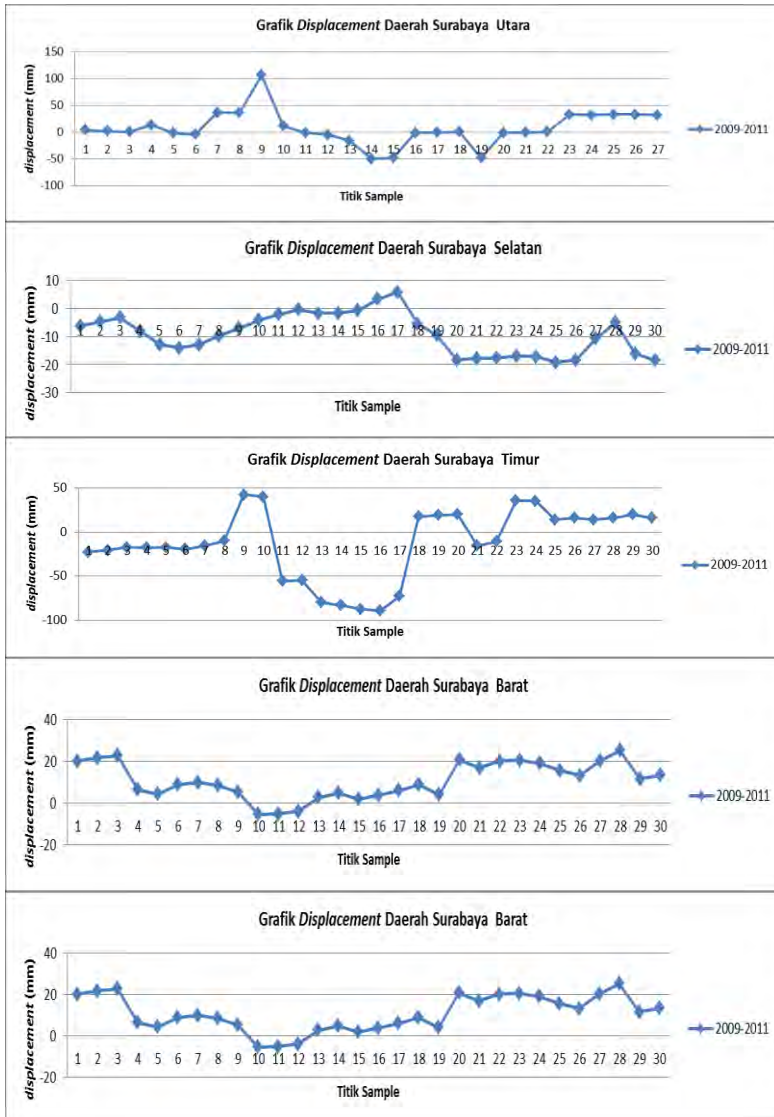
Nilai *displacement* menunjukkan bahwa sepanjang *cross section* sebagian besar mengalami *uplift* sebesar 0 – 25 mm pada semua Kecamatan di Surabaya Utara dengan . Namun juga masih ditemukan beberapa titik di Kecamatan Kenjeran dan Bulak yang masih mengalami *subsidence* sebesar 0 sampai -25 mm.

b. Surabaya Selatan

Kondisi *displacement* di sepanjang *cross section* menunjukkan sebagian besar Surabaya Selatan mengalami *subsidence* dengan rentang nilai antara 0 sampai -25 mm pada Kecamatan Wonocolo, Gayungan, Wonokromo, Sawahan dan sebagian Kecamatan Dukuh Pakis bagian timur. Sedangkan kawasan Wiyung, Jambangan dan Dukuh Pakis bagian barat mengalami *uplift* sebesar 0 sampai 25 mm.



Gambar 4.12 Peta *Cross Section* Pasangan Citra 2009-2011



Gambar 4.13 Grafik *Cross Section* Pasangan Citra 2009-2011

c. Surabaya Timur

Secara umum Surabaya Timur mengalami *subsidence* di semua Kecamatan. Terbukti disepanjang *cross section* sebagian besar mengalami *subsidence*. Rentang *subsidence* berkisar antara 0 sampai -75 mm, dengan rata-rata *subsidence* sebesar 0 sampai -25 mm. Daerah yang mengalami *subsidence* tertinggi berada di daerah perindustrian yaitu di Kecamatan Rungkut dan Gunung Anyar dengan nilai *subsidence* sebesar -75 mm.

d. Surabaya Barat

Surabaya Barat rata-rata mengalami *uplift*. Terbukti melalui hasil pengambilan *cross section*. Walaupun demikian pada titik-titik tertentu terdapat area *subsidence*. Daerah yang nilai *uplift* berkisar antara 0 sampai 50 mm, dengan nilai rata-rata antara 0 sampai 25 mm. Berdasarkan hasil pengolahan, Kecamatan Asemrowo memiliki *uplift* tertinggi dengan rentang sekitar 50 mm. Sedangkan titik yang mengalami *subsidence* menyebar di beberapa titik di kawasan Benowo dan Sukomanunggal.

e. Surabaya Pusat

Daerah yang mengalami *subsidence* dominan di Surabaya Pusat terdapat di Kecamatan Tegalsari dengan besar *displacement* rata-rata antara 0 sampai -25 mm. Sedangkan daerah yang mengalami *uplift* dominan terdapat Kecamatan Bubutan dengan besar *displacement* rata-rata antara 0 sampai 25 mm. Untuk Kecamatan Genteng dan Simokerto rata-rata mengalami 2 jenis fenomena yaitu *subsidence* dan *uplift* pada beberapa titik tertentu.

4.3.3 Analisa Perbandingan Besar Land Subsidence

Surabaya merupakan salah satu daerah urban kedua di Indonesia setelah Jakarta. Kondisi tersebut tentunya mengakibatkan daerah ini rentan terhadap dinamika setiap tahunnya.

Tabel 4.4 Perbandingan *Land Subsidence* Hasil Pengolahan Citra

Daerah	Kecamatan	<i>Subsidence</i> 2009- 2010 (mm)	<i>Subsidence</i> 2009- 2011 (mm)
Surabaya	Pabean Cantikan	0 – 60	-
Utara	Semampir	0 – 25	-
	Krembangan	0 – 60	-
	Bulak	0 – 60	0 – 25
	Kenjeran	0 – 50	0 – 25
Surabaya	Wonokromo	0 – 25	0 – 25
Selatan	Sawahen	0 – 25	0 – 25
	Wonocolo	0 – 25	0 – 25
	Jambangan	0 – 25	-
	Gayungan	0 – 25	0 – 25
	Wiyung	0 – 25	-
	Dukuh Pakis	0 – 25	0 – 25
Surabaya	Rungkut	0 – 50	0 – 100
Timur	Gunung Anyar	0 – 50	0 – 100
	Tenggilis Mejoyo	0 – 50	0 – 25
	Gubeng	0 – 50	0 – 25
	Tambaksari	0 – 50	0 – 25
	Sukolilo	0 – 75	0 – 75
	Mulyorejo	0 – 50	0 – 50
Surabaya	Benowo	0 – 25	0 – 25
Barat	Tandes	0 – 25	-
	Pakal	0 – 25	-
	Sambikerep	-	-
	Lakarsantri	-	-
	Sukomanunggal	0 – 25	0 – 25
	Asem Rowo	0 – 25	-
	Karang Pilang	-	-

Surabaya	Simokerto	0 – 50	0 – 25
Pusat	Bubutan	0 – 25	-
	Genteng	0 – 50	0 – 25
	Tegalsari	0 – 50	0 – 25

Berdasarkan gambar tabel 4.4 menjelaskan perbandingan besar pergeseran yang terjadi pada tahun 2009-2010 dan 2009-2011 berdasarkan masing-masing pengolahan. Adanya persamaan dan perubahan dari besarnya nilai *subsidence* diantara kedua pasang citra di semua kecamatan yang ada di kota Surabaya. Adanya beda antara kedua data tersebut dikarenakan oleh sifat daerah kota Surabaya yang merupakan daerah urban. Selain itu faktor geometri pencitraan radar dan kondisi atmosfer. Adanya faktor atmosfer akan menghambat proses perambatan sinyal saat diterima *transmitter*. Pada bagian troposfer, perambatan gelombang elektromagnetik akan menyebabkan keterlambatan *phase* yang akan berpengaruh terhadap penentuan jarak. Terlebih pada musim penghujan, kelembaman pada lapisan troposfer relatif tinggi (Hanssen, 2001).

4.4 Validasi Besar Land Subsidence Menggunakan Hasil Data Pengukuran GPS

Sebagai validasi pengamatan *subsidence* kota Surabaya menggunakan teknik *DInSAR*, maka digunakan data hasil pengukuran *GPS* yang dilakukan pada tahun 2009-2011 di beberapa titik di kota Surabaya.

Mengacu pada gambar 4.14 dan 4.15 merupakan grafik elevasi hasil pengukuran *GPS* tahun 2009 dan 2011 oleh Kurniawan, 2011 terkait pengamatan *subsidence* di kota Surabaya. Dalam pengukuran tersebut terdapat 8 titik sebaran pengamatan *GPS*, dimana masing-masing grafik tersebut memiliki pola elevasi yang sama. Namun besarnya elevasi antara tahun 2009 dengan tahun 2011 pada koordinat yang sama mengalami perubahan (nilai elevasi pada tahun 2011 bertambah atau berkurang dari tahun

2009), sehingga akan diperoleh besar nilai beda elevasi atau beda tinggi antara tahun 2009-2011.



Gambar 4.14 Grafik Elevasi Pengukuran *GPS* Tahun 2009

Tabel 4.5 Elevasi Pengukuran *GPS* Tahun 2009
(Sumber : Kurniawan, 2011)

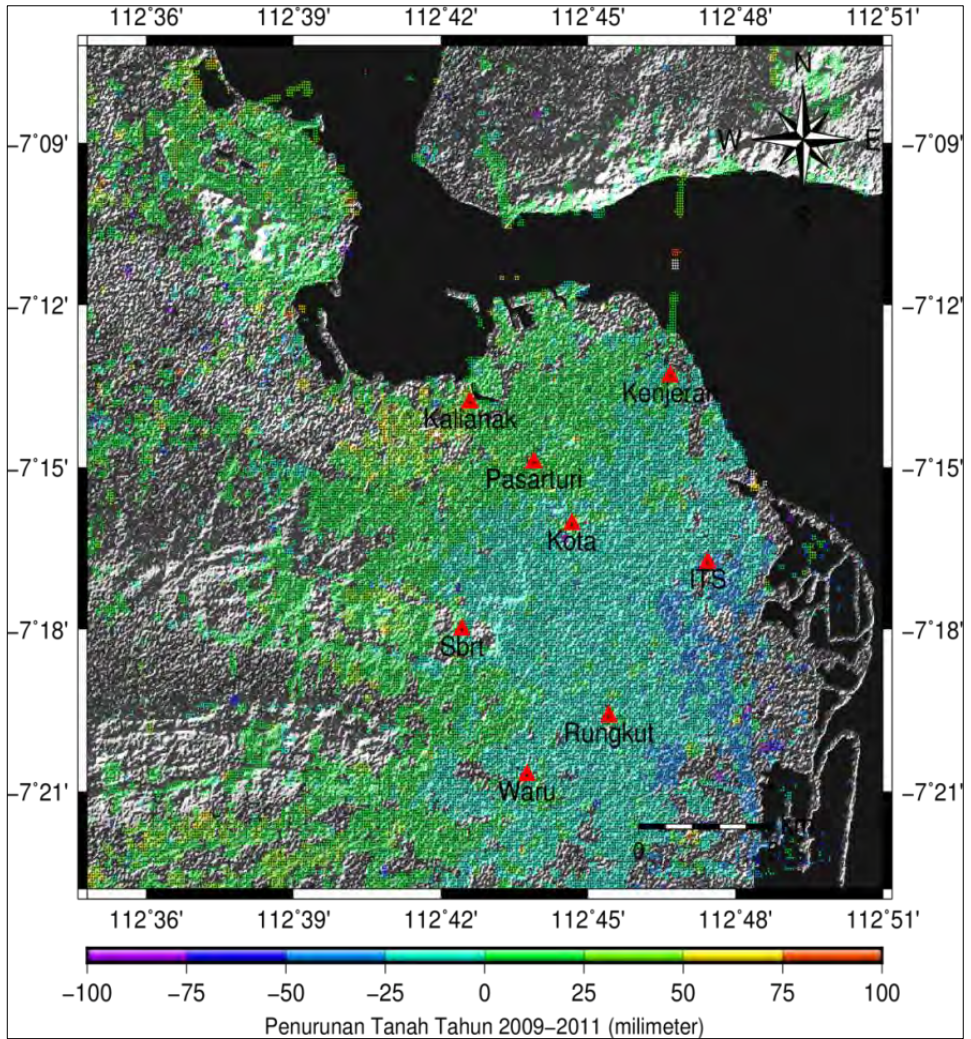
No.	Kota	Bujur	Lintang	Elevasi 2009 (meter)
1	Rungkut	112.7570	-7.3269	32.6484
2	Sbrt	112.7444	-7.2676	43.34994
3	ITS	112.7906	-7.2794	32.06559
4	Waru	112.7292	-7.3450	35.00554
5	Kota/ Pusat	112.7072	-7.3002	33.68871
6	Kalianak	112.7779	-7.2219	31.88627
7	Kenjeran	112.7099	-7.2301	32.04176
8	Pasarturi	112.7316	-7.2486	32.24788



Gambar 4.15 Grafik Elevasi Pengukuran GPS Tahun 2011

Tabel 4.6 Elevasi Pengukuran GPS Tahun 2011
(Sumber : Kurniawan, 2011)

No.	Kota	Bujur	Lintang	Elevasi 2011 (meter)
1	Rungkut	112.7570	-7.3269	32.57787
2	Sbirt	112.7444	-7.2676	43.3493
3	ITS	112.7906	-7.2794	32.09613
4	Waru	112.7292	-7.3450	34.99955
5	Kota/ Pusat	112.7072	-7.3002	33.64217
6	Kalianak	112.7779	-7.2219	31.89823
7	Kenjeran	112.7099	-7.2301	32.0467
8	Pasarturi	112.7316	-7.2486	32.2611



Gambar 4.16 Peta Sebaran Titik *GPS*

Data beda tinggi yang diperoleh dari pengukuran *GPS* akan dijadikan validasi terhadap hasil pengamatan *subsidence* menggunakan teknik *DInSAR*. Gambar 4.17 merupakan grafik

perbandingan beda tinggi antara pengukuran *GPS* dan pengamatan *DInSAR* tahun 2009-2011.



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Beda Tinggi antara Pengukuran *GPS* dan Pengamatan *DInSAR*

Tabel 4.7 Perbandingan Pengukuran *GPS* Kota Surabaya dengan Hasil Pengamatan *DInSAR* Tahun 2009-2011

No.	Kota	Bujur	Lintang	Beda Tinggi (mm)	
				Pengukuran <i>GPS</i>	Pengamatan <i>DInSAR</i>
1	Rungkut	112.7570	-7.3269	-70.53	-51.55
2	Sbrt	112.7444	-7.2676	-0.64	-1.61
3	ITS	112.7906	-7.2794	30.54	25.01
4	Waru	112.7292	-7.3450	-5.99	-15.14
5	Kota/ Pusat	112.7072	-7.3002	-46.54	-50.77
6	Kalianak	112.7779	-7.2219	11.96	4.29
7	Kenjeran	112.7099	-7.2301	4.94	24.28
8	Pasarturi	112.7316	-7.2486	13.22	14.18

Berdasarkan gambar 4.17 dan tabel 4.7, besar perbandingan nilai *displacement* antara hasil pengamatan *DInSAR* tahun 2009-2011 dengan pengukuran *GPS* tahun 2009-2011 secara umum tidak jauh berbeda. Adanya beda antara pengukuran *GPS* dan pengamatan *DInSAR* pada daerah-daerah tertentu disebabkan oleh nilai koherensi citra yang rendah pada citra *interferogram* serta prinsip kerja dari kedua metode yang berbeda.

Berdasarkan perbandingan hasil antara pengamatan *DInSAR* dengan titik *sample* pengukuran *GPS* menunjukkan bahwa pada daerah Rungkut, Sbrt (Kecamatan Sukomanunggal), Waru, dan Pusat/Kota, mengalami *subsidence*. Adanya *subsidence* di daerah tersebut disebabkan oleh faktor penggunaan air bawah tanah yang berlebihan oleh daerah industri, kawasan padat bangunan, pembangunan gedung-gedung besar, besarnya beban jalan, serta konsolidasi tanah. Sedangkan pada daerah ITS, Kenjeran, Kalianak, dan Pasarturi, mengalami *uplift*. Adanya *uplift* pada daerah Kalianak, Pasarturi, dan Kenjeran dikarenakan adanya kegiatan pembangunan pemukiman di daerah tersebut, sehingga dilakukan proses penimbunan tanah. Hal ini menyebabkan daerah tersebut mengalami *uplift*.

Dari data tersebut membuktikan bahwa hasil pengamatan menggunakan teknik *DInSAR* berbanding lurus dengan pengukuran menggunakan *GPS*, tapi besar nilai *displacement* berbeda.

Perbedaan *displacement* yang didapatkan dari pengukuran *GPS* dan data *SAR* dikarenakan faktor berikut :

- a. Perbedaan prinsip pengukuran jarak, *SAR* berdasarkan perbedaan *phase* dimana deformasi dilihat dari *LOS* (1D) sedangkan *GPS* berdasarkan penentuan posisi titik (3D) dari pengamatan metode pengikatan kebelakang.
- b. Perbedaan waktu perekaman data *SAR* dengan data *GPS*.
- c. Kekuatan ketelitian pada metode *InSAR* tergantung pada banyak hal, contohnya akurasi orbit antara dua satelit dan kondisi atmosfer yang mempengaruhi *phase delay*.
- d. Presisi dari pengukuran *DInSAR* masih dalam

subcentimeter. Bagaimanapun *interferogram* yang didalamnya masih mengandung kesalahan akibat orbit, ionosfer, dan perubahan kondisi topografi, sehingga teknik ini belum dapat dikatakan sebagai teknik pengukuran *ground movement* yang akurat.

Jika dibandingkan hasil pengukuran *GPS*, *DInSAR* memiliki kelebihan diantaranya :

- a. *DInSAR* menggunakan data dari satelit *SAR* yang mampu *cover* puluhan kilometer area dalam satu kali observasi tanpa peralatan survei, sehingga memudahkan peneliti dalam mengamati deformasi di area yang sulit diakses.
- b. Teknik *DInSAR* mampu mengidentifikasi atau menggambarkan pola *displacement* (*subsidence* atau *uplift*) secara general.

4.5 Analisa Berdasarkan Kondisi Geologi

Berdasarkan hasil pengolahan *DInSAR*, adanya *subsidence* di kota Surabaya tentunya juga dipengaruhi oleh kondisi geologi kota Surabaya. Berikut merupakan hubungan keterkaitan antara *subsidence* dengan kondisi geologi kota Surabaya.

Mengacu pada tabel 4.8 menjelaskan bahwa kota Surabaya bagian utara, selatan, timur, dan pusat, dominan memiliki kondisi geologi berupa tanah alluvial yang berasal dari batuan sedimentasi pantai dan sungai. Sifat alluvial yang relatif bergerak ini, tentunya memicu adanya *subsidence* di kota Surabaya. Hal ini terbukti melalui pengamatan *DInSAR*, dimana daerah yang mengalami *subsidence* terdapat di daerah yang memiliki jenis tanah alluvial. Jika kawasan tanah alluvial dilakukan aktivitas pembangunan dalam skala besar, maka akan menimbulkan cepatnya laju *subsidence* di kawasan tersebut, hal ini seperti yang terjadi di daerah Rungkut Industri, Surabaya Timur. Sehingga menyebabkan daerah Surabaya Timur mengalami *subsidence* terbesar jika dibanding dengan daerah lain di kota Surabaya.

Sedangkan daerah Surabaya Barat sebagian besar daerahnya berupa daerah perbukitan dari Formasi Kabuh, Formasi Pucangan, dan Formasi Lidah yang memiliki jenis tanah berupa tanah pasir dan lempung yang bercampur dengan material gunung api, dimana jenis tanah pasir relatif lebih stabil jika dibanding tanah alluvial. Hal ini sesuai dengan hasil pengamatan *DInSAR*, dimana daerah kota Surabaya Barat cenderung *uplift* dan stabil.

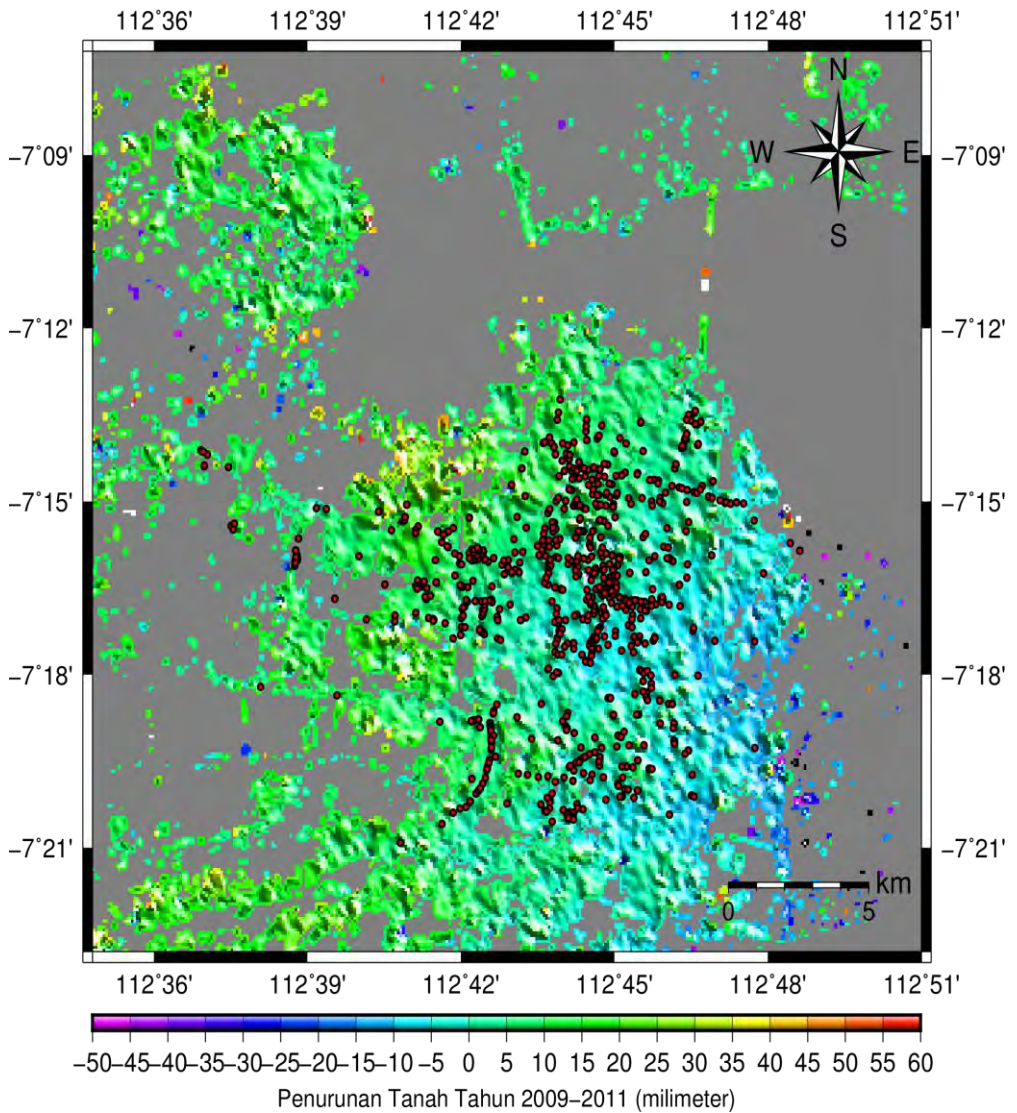
Tabel 4.8 Pengaruh Kondisi Geologi Terhadap *Subsidence*

No.	Wilayah Surabaya	Kondisi Geologi Dominan Kota Surabaya	Rata-rata <i>Displacement</i>
1	Pusat	Alluvial	<i>subsidence</i>
2	Utara	Alluvial	<i>subsidence</i>
3	Timur	Alluvial	<i>subsidence</i>
4	Barat	Formasi Kabuh, Gayungan, dan Lidah	<i>uplift</i>
5	Selatan	Alluvial	<i>subsidence</i>

4.6 Analisa Berdasarkan Titik Air Bawah Tanah

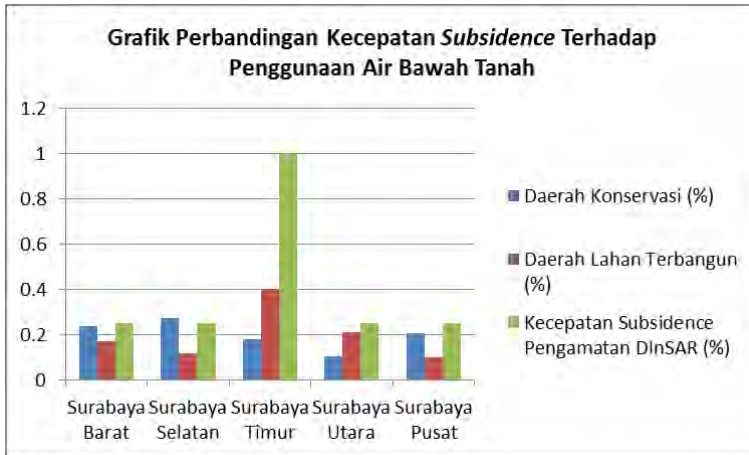
Berikut merupakan peta sebaran titik air bawah tanah kota Surabaya serta pengaruh terhadap penurunan muka tanah oleh hasil pengamatan *DInSAR*.

Mengacu pada gambar 4.18, menunjukkan adanya sebaran titik air bawah tanah yang menyebar di beberapa kecamatan di kota Surabaya mengakibatkan cepatnya laju penurunan muka tanah. Hal ini sesuai dengan hasil pengamatan *DInSAR*, dimana kawasan yang terdapat titik air bawah tanah mengakibatkan turunnya permukaan tanah. Semakin besar konsumsi terhadap air bawah tanah, maka semakin cepat laju penurunan terhadap muka air tanah, sehingga akan mengakibatkan semakin besar pula penurunan muka tanah di atasnya. Besar nilai *subsidence* tergantung dari volume pengambilan air bawah tanah.



Gambar 4.18 Peta Sebaran Titik Air Bawah Tanah

Berdasarkan data dari BAPPEKO Surabaya, kondisi pemanfaatan air bawah tanah digolongkan menjadi 2 kategori yaitu zona resapan air tanah (zona konservasi) dan zona pengambilan air tanah (kawasan terbangun).



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Kecepatan *Subsidence* Terhadap Penggunaan Air Bawah Tanah

Berdasarkan gambar 4.19 menunjukkan keterkaitan antara 3 faktor, yaitu daerah konservasi air tanah, daerah lahan terbangun, dan kecepatan *subsidence* hasil pengamatan *DInSAR*. Di daerah Surabaya Barat, Surabaya Selatan, dan Surabaya Pusat prosentase daerah konservasi lebih besar daripada lahan terbangun, hal ini mengakibatkan besar nilai *subsidence* relatif kecil (0 – 25 mm hasil pengamatan *DInSAR*). Sedangkan untuk kawasan Surabaya Timur prosentase daerah konservasi air bawah tanah jauh lebih kecil dibandingkan lahan terbangun, hal ini mengakibatkan besarnya nilai *subsidence* di kawasan tersebut. Oleh karena itu, untuk memperlambat laju *subsidence*, zona konservasi air bawah tanah harus berbanding lurus terhadap daerah kawasan terbangun.

Mengacu pada tabel 4.9 menjelaskan jumlah daerah konservasi pengambilan air bawah tanah paling banyak terdapat

di Surabaya Selatan dengan jumlah lokasi sebanyak 425 titik dan volume pengambilan air bawah tanah 101962 m³/bln. Sedangkan daerah yang memiliki daerah konservasi pengambilan air bawah tanah terkecil berada di Surabaya Utara dengan jumlah lokasi 179 titik dan volume pengambilan 44427 m³/bln.

Tabel 4.9 Zona Konservasi Air Bawah Tanah di Kota Surabaya
Tahun 2008

(Sumber : Dinas Pajak Propinsi Surabaya)

No.	Lokasi Surabaya	Jumlah Lokasi Air Bawah Tanah	Volume Air Bawah Tanah (m ³ /bln)	Volume Air Bawah Tanah (m ³ /th)
1.	Barat	425	101962	1,223,544
2.	Selatan	410	118818	1,425,816
3.	Timur	350	76978	923,736
4.	Utara	179	44427	533,124
5.	Pusat	279	89535	1,074,420

Rendahnya laju *subsidence* pada daerah konservasi dikarenakan oleh kondisi geologi, hidrogeologi, kedudukan muka air tanah, kualitas air tanah, dan pola resapan air tanah yang mendukung aktivitas konservasi pada daerah tersebut.

Sedangkan untuk zona pengambilan air tanah (kawasan terbangun), didominasi oleh permukiman padat, pusat bisnis dan perdagangan, industri serta kegiatan sosial ekonomi lainnya. Potensi penggunaan air tanah pada zona kawasan terbangun sangat bergantung pada luasan lahan terbuka, curah hujan serta aliran air tanah dari zona konservasi.

Tabel 4.10 Zona Pengambilan Air Bawah Tanah
(Sumber :BAPPEKO, Surabaya)

Lokasi	Luas Lahan Terbangun (Ha)
Surabaya Pusat	1400.84
Surabaya Utara	2881.37
Surabaya Selatan	1607.74
Surabaya Timur	5562.22
Surabaya Barat	2336.66

Pada tabel 4.10 menunjukkan daerah yang merupakan kawasan pengambilan air tanah tertinggi berdasarkan luas lahan terbangun berada di Surabaya Timur dengan luas lahan sebesar 5562.22 Ha dan terendah di Surabaya Pusat dengan luas lahan 1400.84 Ha.

Oleh karena itu, penggunaan air bawah tanah yang berlebihan tanpa diimbangi dengan upaya konservasi yang baik, akan menyebabkan cepatnya laju *subsidence* di kota Surabaya. Penggunaan air bawah tanah kota Surabaya termasuk penggunaan air tanah dalam kategori skala sedang dan ringan (BLH Kota Surabaya, 2015).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian *land subsidence* kota Surabaya menggunakan metode *two-pass DInSAR* dengan menggunakan citra satelit *ALOS PALSAR*, maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu :

- a. Dari pengolahan *DInSAR* didapatkan besar *subsidence* selama 3 tahun (2009-2011) berdasarkan *line of sight (LOS)* berkisar antara 0 sampai -25 mm untuk Surabaya Utara, 0 sampai -25 mm di Surabaya Selatan, 0 sampai -100 mm di Surabaya Timur, 0 sampai -25 mm di Surabaya Barat, dan 0 sampai -25 mm di Surabaya Pusat, sehingga rata-rata nilai *subsidence* kota Surabaya sebesar 0 sampai -25 mm.
- b. Adanya rata-rata laju *subsidence* di kota Surabaya antara tahun 2009-2011 berkisar antara -5 mm/tahun.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan data dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan antara lain :

- a. Untuk memperoleh data yang lebih akurat, diperlukan validasi data pengukuran *GPS* yang lebih banyak terkait *land subsidence* di kota Surabaya.
- b. Untuk mencegah rendahnya nilai koherensi citra akibat dekorelasi temporal dan dekorelasi geometrik, maka diperlukan data dalam jumlah yang banyak dengan jarak temporal dan *baseline* yang berdekatan. Untuk jarak temporal tidak lebih dari 6 bulan, dan jarak *baseline* berkisar kurang dari sama dengan ± 150 m.
- c. Diperlukan metode pengolahan *SAR* lain untuk mengetahui hasil pengolahan yang lebih baik, seperti *three pass*, *four pass* dan *Persistenst Scaterers InSAR* (pengolahan *SAR*

- dengan menggunakan objek berkarakteristik sama pada akuisisi data yang berbeda-beda).
- d. Dalam pengolahan citra menggunakan *software GMTSAR* sebaiknya menguasai *software GMT* dan bahasa pemrograman C karena banyak perintah yang didasarkan pada *GMT* dan *GMTSAR* berbasis bahasa C.
 - e. Diperlukan pengolahan citra menggunakan *software* yang bervariasi sehingga dapat membandingkan besar *subsidence* antar *software* karena *software GMTSAR* belum mampu mengatasi masalah koherensi yang rendah sehingga mempengaruhi hasil *unwrapping*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappeda Jawa Timur. (2015). Kota Surabaya. *Bappeda.jatimprov.go.id*. Dikunjungi pada tanggal 25 Desember 2015, jam 14.00
- Chen Y Q, C. A. (1986). *An overview of the physical interpretation of deformation measurements Deformation Measurements workshop*. Boston : MIT.
- ESA. (2000). *ESA Course 2*. Dari <URL:http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOCS/spaceborne/Radar_Courses/Radar_Course_III/slant_range_ground_range.htm>. Dikunjungi pada tanggal 23 Juni 2016, jam 13.00.
- Ferretti, A., Andrea Monti-Guarnieri, Claudio Prati, dan Fabio Rocca. (2007a). *InSAR Principles : Guidelines For SAR Interferometry Processing And Interpretation*. The Netherlands : ESA Publications.
- Ferretti, A., Andrea Monti-Guarnieri, Claudio Prati, dan Fabio Rocca. (2007b). *InSAR Processing : A Practical Approach*. The Netherlands : ESA Publications.
- Genderen, G. r. (1995). *SAR Interferometry-Issu Techniques, Applications the International Journal of Remote Sensing*. the Netherlands : ITC.
- GeoSARNAS. (2011). *International Seminar Geospatial and Human Dimension in Natural Resource Management*. In *Proceedings Geomatika SAR Nasional* (pp. ISBN 978-979-25-7259-9). Bogor: Crestpent Press@2011.
- GSI, n.d. (2014). *Geospatial Information Authority of Japan*.<URL:<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/qanda/qanda-e.html>>. Dikunjungi pada tanggal 23 Desember 2015, jam 14.00
- Handoko, E. Y., dkk (2011). *Apakah Surabaya Terjadi Land subsidence?* Surabaya : Teknik Geomatika - Kampus ITS Sukulilo, Surabaya 60111ITS.

- Hanssen, R. (2001). *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*. London : Kluwer Academic Publisher. The Netherlands : Delft University of Technology.
- Hartl. (1996). *Synthetic Aperture Radar, Theory and Applications*. Delft : Faculty of Geodesy-Delft University of Technology, Lecture Note.
- Japan Space System. (2012). *Japan Space System (JSS)*. <URL:<http://gds.PALSAR.ersdac.jspacesystems.or.jp/e/about/sensor/>>. Dikunjungi pada tanggal 21 Desember 2015, jam 13.00
- Kurniawan, Akbar. (2011). *Studi Penelitian Penurunan Tanah Kota Surabaya Menggunakan Global Positioning System*. Surabaya : Tesis Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Lusch, D. P. (1999). *Introduction to Microwave Remote Sensing*. Michigan State University : Center for Remote Sensing and Geographic Information Science. Massonnet, D. (1998). *Radar Interferometry and Its Application To Changes In The Earth's Surface*. Reviews of Geophysics 36,4, 441–500.
- Ng, A.H., dkk. (2008). *Radar Interferometry for Ground Subsidence Monitoring Using ALOS PALSAR Data*. Beijing : The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- Sacristan, O. (2004). *Advanced Differential Interferometric SAR Techniques For Detection Terrain and Building Displacement*. De Catalunya : Dh.D Dissertation, Universitat Politecnica De Catalunya.
- Sandwell, David, dkk. (2011). *GMTSAR : An InSAR Processing System Based on Generic Mapping Tools*. <URL:<http://gmt.soest.hawaii.edu/projects/gmt5sar/wiki>>. Dikunjungi pada tanggal 23 Desember 2015, jam 11.00.
- Saputro, E.A., dkk. (2009). *Deteksi Penurunan Muka Tanah Kota Semarang dengan Teknik Differential*

- Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) Menggunakan Software ROI PAC Berbasis Open Source.* Semarang : Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Skolnik, M., (2001). *Introduction to Radar Systems*. New York : McGraw-Hill, 3rd Edition.
- Soekardi. (1992). *Geologi Lembar Pacitan, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia.
- Sophian, R. (2010). *Penurunan Muka Tanah di Kota – kota Besar Pesisir pantai Utara Jawa (Studi Kasus : Kota Semarang)*. Semarang : Buletin of Scientific Contribution Universitas Diponegoro.
- Syawal. (2013). *Land Subsidence*. <URL:<https://syawal88.wordpress.com>>. Dikunjungi pada tanggal 2 Januari 2016.
- Tempfli. (1991). *Digital Elevation Model*. <URL:<http://solusi-pembangunan.blogspot.com>>. Dikunjungi pada tanggal 15 Januari 2016, jam 23.00.
- Tobita, M. (1998). *Deformation of the 1995 North Sakhalin Earthquake Detected by JERS-1/SAR Interferometry*. Earth Planets Place, 50, 313-325.
- Tomiyama, N. (2010). *Microwave Remote Sensing With Focuses on Forestry And Agriculture*. Hanoi, Vietnam: ISPRS Students Consorsium and WG VI/5 TH Summer School.
- USGS . (2000). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global*. <URL:<http://lta.cr.usgs.gov/>>. Dikunjungi pada tanggal 23 Desember 2015, jam 09.00.
- Wei, L. (2006). *Land Subsidence And Water Management In Shanghai. Master Thesis*. TU Delft, The Netherlands : p.1-79.

“Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 1
Parameter Hasil *Pre-Processing*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Parameter Hasil *Pre-Processing* Pasangan Citra 2009-2010

a. Master (2009)

num_valid_az	= 9216
nrows	= 16384
first_line	= 1
deskew	= n
caltone	= 0.000000
st_rng_bin	= 1
Flip_iq	= n
offset_video	= n
az_res	= 5.000000
nlooks	= 1
chirp_ext	= 1000
scnd_rng_mig	= n
rng_spec_wgt	= 1.000000
rm_rng_band	= 0.000000
rm_az_band	= 0.000000
rshift	= 0
ashift	= 0
stretch_r	= 0.000000
stretch_a	= 0.000000
a_stretch_r	= 0.000000
a_stretch_a	= 0.000000
first_sample	= 206
SC_identity	= 5
rng_samp_rate	= 32000000.000000
input_file	= IMG-HH- ALPSRP163747040-H1.0__A.raw
num_rng_bins	= 11304
bytes_per_line	= 21100
good_bytes_per_line	= 21020
PRF	= 2150.538000
pulse_dur	= 2.700000e-05
near_range	= 848515.000000
num_lines	= 35269
num_patches	= 3

SC_clock_start	= 2009050.6401409144
SC_clock_stop	= 2009050.6403307177
clock_start	= 50.640140914352
clock_stop	= 50.640330717593
led_file	= LED-ALPSRP163747040-
H1.0__A	
date	= 090219
orbdir	= A
lookdir	= R
radar_wavelength	= 0.236057
chirp_slope	= -1.03704e+12
rng_samp_rate	= 32000000.000000
I_mean	= 15.5
Q_mean	= 15.5
SC_vel	= 7205.414899
earth_radius	= 6377728.560885
equatorial_radius	= 6378137.000000
polar_radius	= 6356752.314100
SC_height	= 699415.881367
SC_height_start	= 699465.549476
SC_height_end	= 699365.870771
fd1	= -9.577823
fdd1	= 0.00000000
fddd1	= 0.000000
sub_int_r	= 0.000000
sub_int_a	= 0.000000
SLC_file	= IMG-HH-
ALPSRP163747040-H1.0__A.SLC	
dtype	= a
SLC_scale	= 8000000.000000

b. *Slave* (2009)

num_valid_az	= 9216
nrows	= 16384
first_line	= 1
deskew	= n


```
lookdir                = R
radar_wavelength       = 0.236057
chirp_slope            = -1.03704e+12
rng_samp_rate          = 32000000.000000
I_mean                 = 15.5
Q_mean                 = 15.5
SC_vel                 = 7205.301495
earth_radius           = 6377728.560885
equatorial_radius      = 6378137.000000
polar_radius           = 6356752.314100
SC_height              = 699310.065860
SC_height_start        = 699359.611638
SC_height_end          = 699260.177215
fd1                    = -9.577823
fdd1                   = 0.00000000
fddd1                  = 0.000000
sub_int_r              = 0.000000
sub_int_a              = 0.000000
rshift                 = 52
sub_int_r              = 0.4842
stretch_r              = 0.000811843
a_stretch_r            = -0.00020145
ashift                 = 35
sub_int_a              = 0.8847
stretch_a              = 0.00111382
a_stretch_a            = -0.00425463
SLC_file               = IMG-HH-
ALPSRP210717040-H1.0__A.SLC
dtype                  = a
SLC_scale               = 8000000.000000
```

Parameter Hasil *Pre-Processing* Pasangan Citra 2009-2011

a. *Master* (2011)

num_valid_az	= 9216
nrows	= 16384
first_line	= 1
deskew	= n
caltone	= 0.000000
st_rng_bin	= 1
Flip_iq	= n
offset_video	= n
az_res	= 5.000000
nlooks	= 1
chirp_ext	= 1000
scnd_rng_mig	= n
rng_spec_wgt	= 1.000000
rm_rng_band	= 0.000000
rm_az_band	= 0.000000
rshift	= 0
ashift	= 0
stretch_r	= 0.000000
stretch_a	= 0.000000
a_stretch_r	= 0.000000
a_stretch_a	= 0.000000
first_sample	= 206
SC_identity	= 5
rng_samp_rate	= 32000000.000000
input_file	= IMG-HH- ALPSRP264397040-H1.0__A.raw
num_rng_bins	= 11304
bytes_per_line	= 21100
good_bytes_per_line	= 21020
PRF	= 2145.923000
pulse_dur	= 2.700000e-05
near_range	= 848815.000000
num_lines	= 35194
num_patches	= 3

SC_clock_start	= 2011010.6382749768
SC_clock_stop	= 2011010.6384647917
clock_start	= 10.638274976852
clock_stop	= 10.638464791667
led_file	= LED-ALPSRP264397040-
H1.0__A	
date	= 110110
orbidir	= A
lookdir	= R
radar_wavelength	= 0.236057
chirp_slope	= -1.03704e+12
rng_samp_rate	= 32000000.000000
I_mean	= 15.5
Q_mean	= 15.5
SC_vel	= 7205.024838
earth_radius	= 6377728.531404
equatorial_radius	= 6378137.000000
polar_radius	= 6356752.314100
SC_height	= 699259.008083
SC_height_start	= 699308.602010
SC_height_end	= 699209.072167
fd1	= 6.091131
fdd1	= 0.00000000
fddd1	= 0.000000
sub_int_r	= 0.000000
sub_int_a	= 0.000000
SLC_file	= IMG-HH-
ALPSRP264397040-H1.0__A.SLC	
Dtype	= a
SLC_scale	= 8000000.000000

b. *Slave* (2009)

num_valid_az	= 9216
nrows	= 16384
first_line	= 1
deskew	= n


```
lookdir           = R
radar_wavelength  = 0.236057
chirp_slope       = -1.03704e+12
rng_samp_rate     = 32000000.000000
I_mean           = 15.5
Q_mean           = 15.5
SC_vel           = 7205.400176
earth_radius      = 6377728.531404
equatorial_radius = 6378137.000000
polar_radius      = 6356752.314100
SC_height         = 699415.910848
SC_height_start   = 699465.578957
SC_height_end     = 699365.900252
fd1              = 6.091131
fdd1             = 0.00000000
fddd1            = 0.000000
sub_int_r         = 0.000000
sub_int_a         = 0.000000
rshift           = -137
sub_int_r         = 0.501
stretch_r         = -0.00178205
a_stretch_r       = 0.000467096
ashift           = -111
sub_int_a         = 0.231
stretch_a         = -0.00258128
a_stretch_a       = 0.00208173
SLC_file          = IMG-HH-
ALPSRP163747040-H1.0__A.SLC
dtype            = a
SLC_scale         = 8000000.000000
```

Lampiran 2

**Tabel Besar *Displacement* Surabaya Utara,
Surabaya Selatan, Surabaya Timur,
Surabaya Barat, Surabaya Pusat**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Surabaya Utara

Tahun 2009-2010				Tahun 2009-2011			
No.	x	y	Δz	No.	x	y	Δz
1	112.7729	-7.21542	-43	1	112.7729	-7.21542	4.640463
2	112.7738	-7.21542	-44.35263	2	112.7738	-7.21542	2.205853
3	112.7746	-7.21542	-43.98849	3	112.7746	-7.21542	0.735709
4	112.7779	-7.21542	-42.60497	4	112.7779	-7.21542	13.37798
5	112.7846	-7.21542	-40.29028	5	112.7846	-7.21542	-1.5884
6	112.7854	-7.21542	-38.26527	6	112.7854	-7.21542	-3.90929
7	112.4204	-7.21625	-39.91113	7	112.4204	-7.21625	37.03679
8	112.4213	-7.21625	-38.00000	8	112.4213	-7.21625	36.03022
9	112.5371	-7.21625	-30.00000	9	112.5371	-7.21625	106.6421
10	112.5454	-7.21625	-50.41518	10	112.5454	-7.21625	11.6466
11	112.6438	-7.21625	-53.28745	11	112.6438	-7.21625	-0.83062
12	112.6446	-7.21625	-51.82340	12	112.6446	-7.21625	-4.77367
13	112.6454	-7.21625	-61.52245	13	112.6454	-7.21625	-15.3401
14	112.6504	-7.21625	-55.72472	14	112.6504	-7.21625	-49.6871
15	112.6513	-7.21625	-15.97459	15	112.6513	-7.21625	-47.9427
16	112.6529	-7.21625	-10.63302	16	112.6529	-7.21625	-0.70413
17	112.6538	-7.21625	-7.30995	17	112.6538	-7.21625	-0.50673
18	112.6546	-7.21625	-20.42458	18	112.6546	-7.21625	0.564553
19	112.6513	-7.21625	-15.97459	19	112.6513	-7.21625	-47.9427
20	112.6529	-7.21625	-10.63302	20	112.6529	-7.21625	-0.70413
21	112.6538	-7.21625	-7.30995	21	112.6538	-7.21625	-0.50673
22	112.6546	-7.21625	-20.42458	22	112.6546	-7.21625	0.564553
23	112.6263	-7.21625	18.68241	23	112.6263	-7.21625	32.88803
24	112.6271	-7.21625	16.77390	24	112.6271	-7.21625	31.81078
25	112.6346	-7.21625	16.24560	25	112.6346	-7.21625	33.39177
26	112.6354	-7.21625	4.64516	26	112.6354	-7.21625	33.32665
27	112.6363	-7.21625	4.45914	27	112.6363	-7.21625	31.83996

Surabaya Selatan

Tahun 2009-2010				Tahun 2009-2011			
No.	x	y	Δz	No.	x	y	Δz
1	112.7454	-7.32542	-26.9656	1	112.7454	-7.32542	-6.2766
2	112.7463	-7.32542	-25.9846	2	112.7463	-7.32542	-4.7945
3	112.7471	-7.32542	-25.8240	3	112.7471	-7.32542	-3.2414
4	112.7479	-7.32542	-28.0657	4	112.7479	-7.32542	-8.0217
5	112.7488	-7.32542	-30.0769	5	112.7488	-7.32542	-12.9695
6	112.7496	-7.32542	-30.5294	6	112.7496	-7.32542	-14.1277
7	112.7504	-7.32542	-30.4770	7	112.7504	-7.32542	-12.9168
8	112.7513	-7.32542	-28.0324	8	112.7513	-7.32542	-9.7214
9	112.7521	-7.32542	-27.0689	9	112.7521	-7.32542	-7.0926
10	112.7529	-7.32542	-26.7703	10	112.7529	-7.32542	-4.1382
11	112.7538	-7.32542	-26.0309	11	112.7538	-7.32542	-2.2010
12	112.7546	-7.32542	-27.3972	12	112.7546	-7.32542	-0.4921
13	112.7554	-7.32542	-28.2275	13	112.7554	-7.32542	-1.7848
14	112.7563	-7.32542	-26.9567	14	112.7563	-7.32542	-1.7323
15	112.7571	-7.32542	-25.9502	15	112.7571	-7.32542	-0.6527
16	112.7579	-7.32542	-22.7420	16	112.7579	-7.32542	3.2763
17	112.7588	-7.32542	-23.6066	17	112.7588	-7.32542	5.7917
18	112.7596	-7.32542	-27.6433	18	112.7596	-7.32542	-5.4686
19	112.7604	-7.32542	-28.4289	19	112.7604	-7.32542	-9.5974
20	112.7613	-7.32542	-28.2464	20	112.7613	-7.32542	-18.3167
21	112.7621	-7.32542	-32.1476	21	112.7621	-7.32542	-17.8181
22	112.7629	-7.32542	-34.0561	22	112.7629	-7.32542	-17.5742
23	112.7638	-7.32542	-34.9109	23	112.7638	-7.32542	-16.9331
24	112.7646	-7.32542	-33.7161	24	112.7646	-7.32542	-17.2763
25	112.7654	-7.32542	-33.4977	25	112.7654	-7.32542	-19.1711
26	112.7663	-7.32542	-35.5409	26	112.7663	-7.32542	-18.3798
27	112.7671	-7.32542	-37.0617	27	112.7671	-7.32542	-10.7758
28	112.7679	-7.32542	-39.3069	28	112.7679	-7.32542	-4.9535
29	112.7688	-7.32542	-41.7694	29	112.7688	-7.32542	-16.0870
30	112.7696	-7.32542	-42.4453	30	112.7696	-7.32542	-18.5119

Surabaya Timur

Tahun 2009-2010				Tahun 2009-2011			
No.	x	y	Δz	No.	x	y	Δz
1	112.8004	-7.28542	-58.2777	1	112.8004	-7.28542	-23.0677
2	112.8013	-7.28542	-57.5631	2	112.8013	-7.28542	-20.3908
3	112.8021	-7.28542	-55.4434	3	112.8021	-7.28542	-17.3772
4	112.8029	-7.28542	-52.9688	4	112.8029	-7.28542	-17.6302
5	112.8038	-7.28542	-50.4963	5	112.8038	-7.28542	-17.3247
6	112.8046	-7.28542	-46.6259	6	112.8046	-7.28542	-19.425
7	112.8054	-7.28542	-45.3259	7	112.8054	-7.28542	-15.3011
8	112.8063	-7.28542	-46.0108	8	112.8063	-7.28542	-10.1319
9	112.8104	-7.28542	-4.3122	9	112.8104	-7.28542	42.37405
10	112.8113	-7.28542	-6.6476	10	112.8113	-7.28542	39.94619
11	112.8321	-7.28542	-52.8816	11	112.8321	-7.28542	-55.3589
12	112.8329	-7.28542	-65.1906	12	112.8329	-7.28542	-54.7056
13	112.4354	-7.28625	-68.0065	13	112.4354	-7.28625	-79.7052
14	112.4363	-7.28625	-77.8438	14	112.4363	-7.28625	-82.8799
15	112.4371	-7.28625	-77.3263	15	112.4371	-7.28625	-87.197
16	112.4379	-7.28625	-77.7389	16	112.4379	-7.28625	-89.1859
17	112.4388	-7.28625	-74.3212	17	112.4388	-7.28625	-72.7071
18	112.6329	-7.28625	28.2398	18	112.6329	-7.28625	17.44099
19	112.6338	-7.28625	26.8462	19	112.6338	-7.28625	18.91562
20	112.6438	-7.28625	33.0365	20	112.6438	-7.28625	19.71207
21	112.5971	-7.28625	57.0021	21	112.5971	-7.28625	-15.4696
22	112.5979	-7.28625	21.2586	22	112.5979	-7.28625	-10.8088
23	112.6263	-7.28625	23.6929	23	112.6263	-7.28625	35.51231
24	112.6271	-7.28625	25.1580	24	112.6271	-7.28625	35.38628
25	112.6313	-7.28625	26.3638	25	112.6313	-7.28625	14.07159
26	112.6321	-7.28625	29.0198	26	112.6321	-7.28625	16.0266
27	112.6313	-7.28625	26.3638	27	112.6313	-7.28625	14.07159
28	112.6321	-7.28625	29.0198	28	112.6321	-7.28625	16.0266
29	112.6346	-7.28625	61.2456	29	112.6346	-7.28625	19.98306
30	112.6321	-7.28625	50.0000	30	112.6321	-7.28625	16.0266

Surabaya Barat

Tahun 2009-2010				Tahun 2009-2011			
No.	x	y	Δz	No.	x	y	Δz
1	112.6346	-7.21875	-47.3802	1	112.6346	-7.21875	20.0537
2	112.6354	-7.21875	-55.2761	2	112.6354	-7.21875	21.6785
3	112.6363	-7.21875	-59.5094	3	112.6363	-7.21875	22.74172
4	112.6504	-7.21875	-16.6844	4	112.6504	-7.21875	6.505731
5	112.6513	-7.21875	-17.6709	5	112.6513	-7.21875	4.342928
6	112.6529	-7.21875	-17.6278	6	112.6529	-7.21875	8.973098
7	112.6538	-7.21875	-20.0561	7	112.6538	-7.21875	9.837155
8	112.6546	-7.21875	-36.3780	8	112.6546	-7.21875	8.511062
9	112.6554	-7.21875	-40.1037	9	112.6554	-7.21875	5.312867
10	112.7104	-7.21875	-30.2093	10	112.7104	-7.21875	-5.4384
11	112.7113	-7.21875	-30.9362	11	112.7113	-7.21875	-5.21683
12	112.7121	-7.21875	-24.2135	12	112.7121	-7.21875	-3.88598
13	112.7129	-7.21875	-25.7752	13	112.7129	-7.21875	2.759882
14	112.7138	-7.21875	-36.2994	14	112.7138	-7.21875	4.783574
15	112.7146	-7.21875	-35.8685	15	112.7146	-7.21875	2.033967
16	112.7154	-7.21875	-17.9255	16	112.7154	-7.21875	3.751329
17	112.7163	-7.21875	-14.8029	17	112.7163	-7.21875	6.049816
18	112.7171	-7.21875	-14.0019	18	112.7171	-7.21875	8.782974
19	112.7179	-7.21875	-13.3547	19	112.7179	-7.21875	4.007829
20	112.7229	-7.21875	-15.8581	20	112.7229	-7.21875	20.72534
21	112.7238	-7.21875	-21.7373	21	112.7238	-7.21875	16.87154
22	112.7288	-7.21875	-27.6464	22	112.7288	-7.21875	20.1109
23	112.7296	-7.21875	-24.8661	23	112.7296	-7.21875	20.40412
24	112.7304	-7.21875	-28.8416	24	112.7304	-7.21875	19.13616
25	112.7313	-7.21875	-32.7342	25	112.7313	-7.21875	15.70833
26	112.7321	-7.21875	-34.4648	26	112.7321	-7.21875	13.19209
27	112.7329	-7.21875	-36.3064	27	112.7329	-7.21875	20.22048
28	112.7338	-7.21875	-35.2456	28	112.7338	-7.21875	25.24725
29	112.7429	-7.21875	-33.0968	29	112.7429	-7.21875	11.46818
30	112.7438	-7.21875	-31.9094	30	112.7438	-7.21875	13.32721

Surabaya Pusat

Tahun 2009-2010				Tahun 2009-2011			
No.	x	y	Δz	No.	x	y	Δz
1	112.7346	-7.28375	-32.1833	1	112.7346	-7.28375	20.0537
2	112.7354	-7.28375	-32.2925	2	112.7354	-7.28375	21.6785
3	112.7363	-7.28375	-32.0585	3	112.7363	-7.28375	22.74172
4	112.7371	-7.28375	-30.8828	4	112.7371	-7.28375	6.505731
5	112.7379	-7.28375	-30.5614	5	112.7379	-7.28375	4.342928
6	112.7388	-7.28375	-30.2398	6	112.7388	-7.28375	8.973098
7	112.7396	-7.28375	-31.8426	7	112.7396	-7.28375	9.837155
8	112.7404	-7.28375	-33.8119	8	112.7404	-7.28375	8.511062
9	112.7413	-7.28375	-35.2171	9	112.7413	-7.28375	5.312867
10	112.7421	-7.28375	-34.4997	10	112.7421	-7.28375	-5.4384
11	112.7429	-7.28375	-34.0835	11	112.7429	-7.28375	-5.21683
12	112.7438	-7.28375	-33.9688	12	112.7438	-7.28375	-3.88598
13	112.7446	-7.28375	-33.4694	13	112.7446	-7.28375	2.759882
14	112.7454	-7.28375	-31.8387	14	112.7454	-7.28375	4.783574
15	112.7463	-7.28375	-30.5389	15	112.7463	-7.28375	2.033967
16	112.7588	-7.28375	-39.4340	16	112.7588	-7.28375	3.751329
17	112.7479	-7.28375	-31.8459	17	112.7479	-7.28375	6.049816
18	112.7488	-7.28375	-36.0767	18	112.7488	-7.28375	8.782974
19	112.7496	-7.28375	-36.5127	19	112.7496	-7.28375	4.007829
20	112.7504	-7.28375	-35.5878	20	112.7504	-7.28375	20.72534
21	112.7513	-7.28375	-37.0705	21	112.7513	-7.28375	16.87154
22	112.7521	-7.28375	-38.6350	22	112.7521	-7.28375	20.1109
23	112.7529	-7.28375	-38.3288	23	112.7529	-7.28375	20.40412
24	112.7538	-7.28375	-37.9305	24	112.7538	-7.28375	19.13616
25	112.7546	-7.28375	-38.0972	25	112.7546	-7.28375	15.70833
26	112.7554	-7.28375	-37.7024	26	112.7554	-7.28375	13.19209
27	112.7563	-7.28375	-37.6732	27	112.7563	-7.28375	20.22048
28	112.7571	-7.28375	-37.8294	28	112.7571	-7.28375	25.24725
29	112.7579	-7.28375	-38.3061	29	112.7579	-7.28375	11.46818
30	112.7579	-7.28375	-38.3061	30	112.7579	-7.28375	13.32721

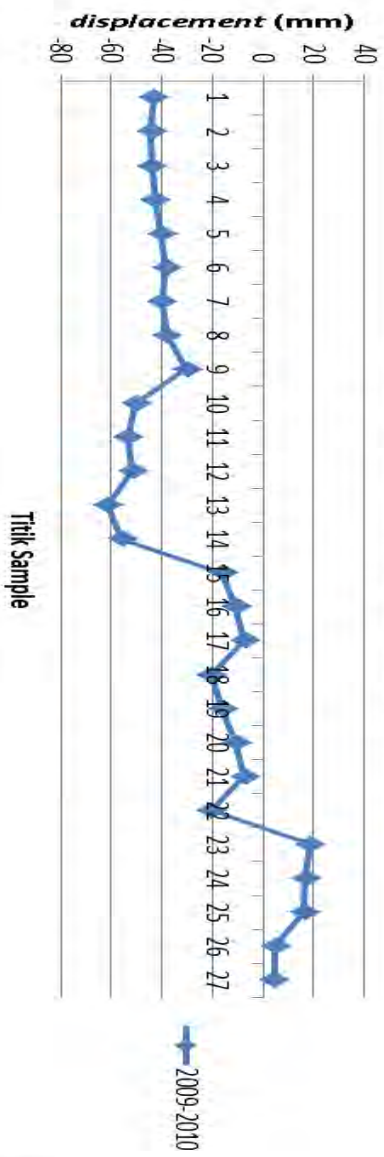
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 3

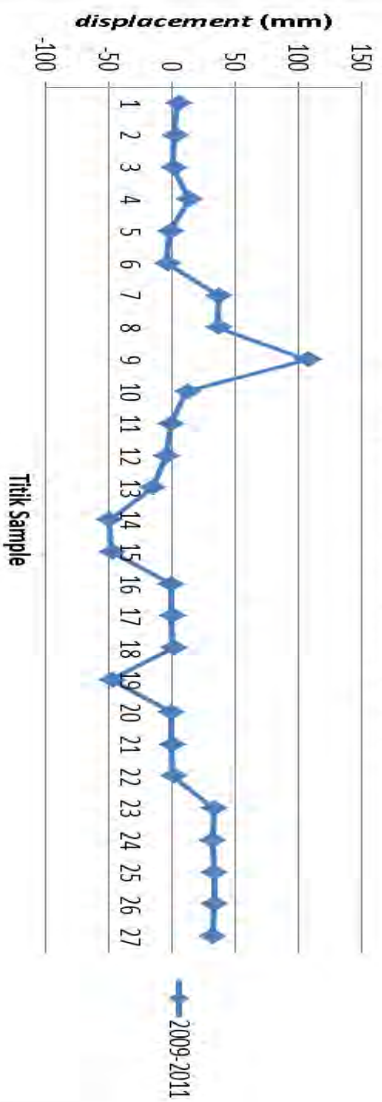
**Grafik *Displacement* Surabaya Utara, Surabaya
Selata, Surabaya Timur, Surabaya Barat,
Surabaya Pusat**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

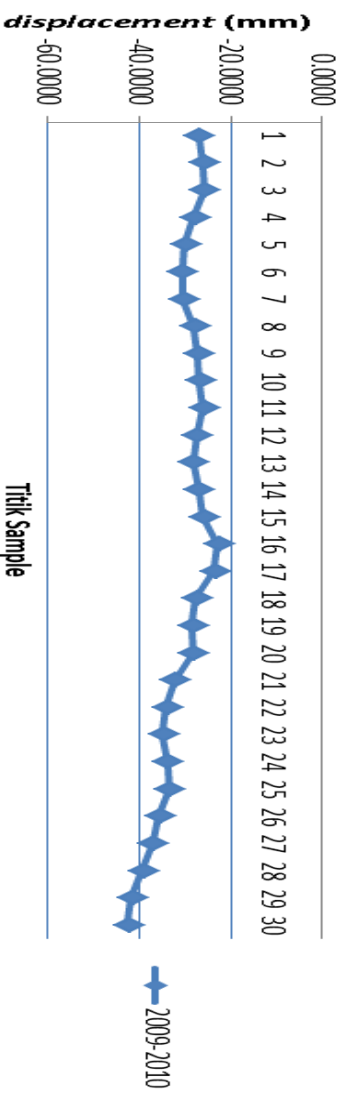
Grafik Displacement Daerah Surabaya Utara



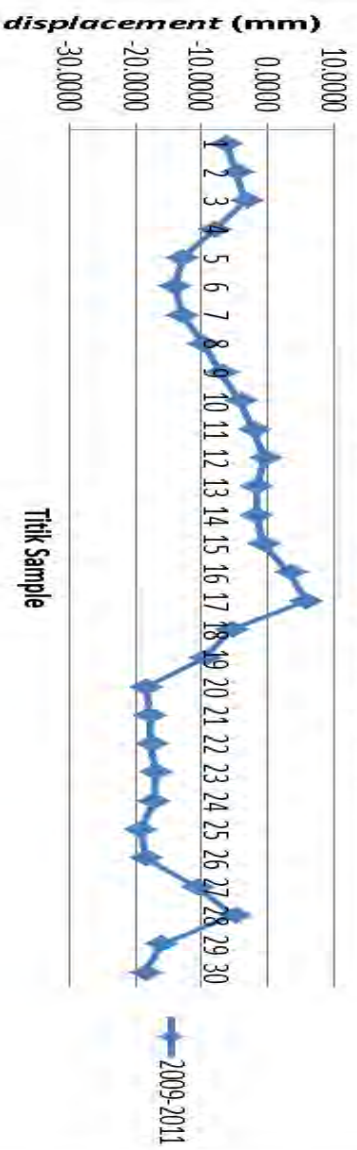
Grafik Displacement Daerah Surabaya Utara



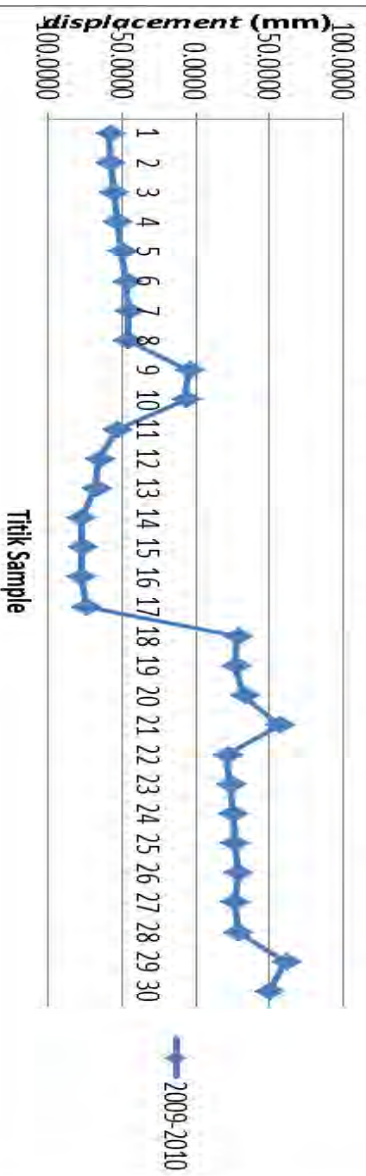
Grafik Displacement Daerah Surabaya Selatan



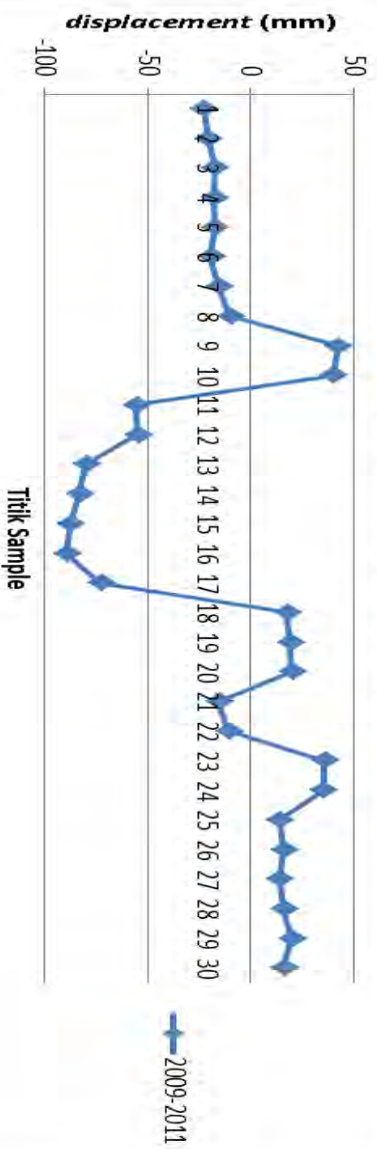
Grafik Displacement Daerah Surabaya Selatan



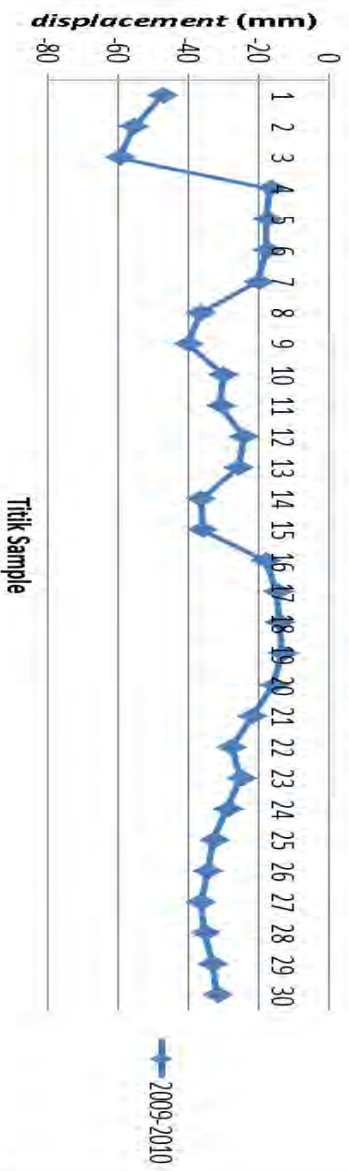
Grafik Displacement Daerah Surabaya Timur



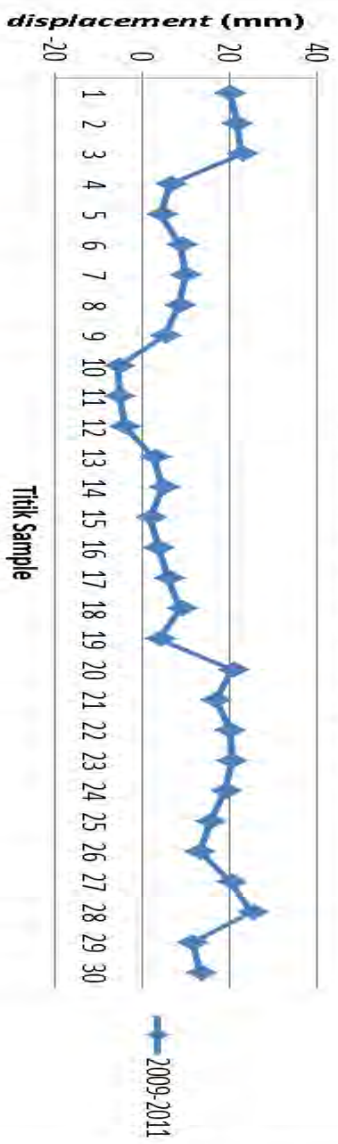
Grafik Displacement Daerah Surabaya Timur



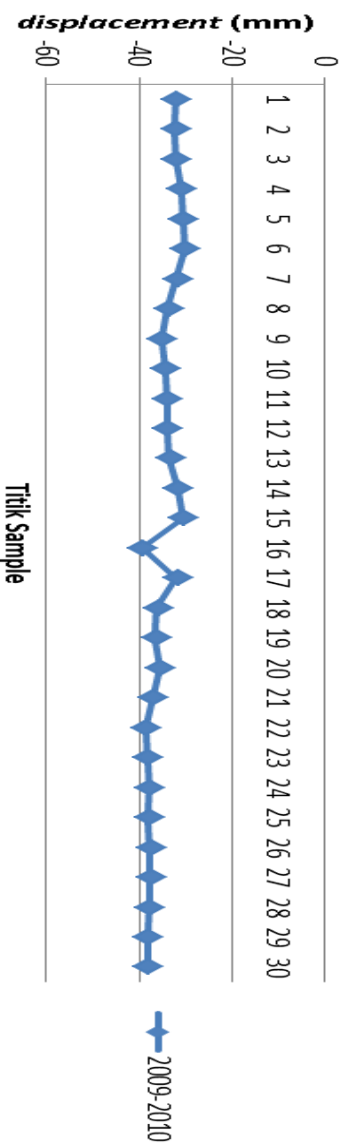
Grafik Displacement Daerah Surabaya Barat



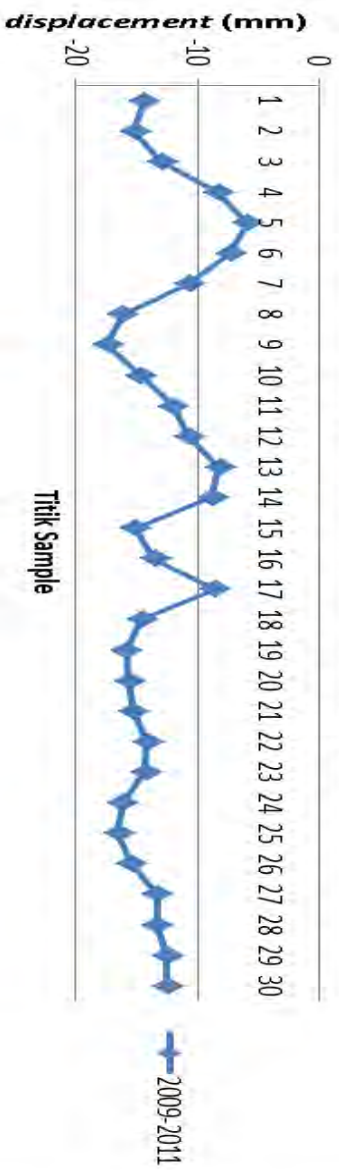
Grafik Displacement Daerah Surabaya Barat



Grafik Displacement Daerah Surabaya Pusat



Grafik Displacement Daerah Surabaya Pusat



BIOGRAFI PENULIS



AWALINA LUKMANA CITA RESMI.

Penulis merupakan anak ke-1 dari 2 bersaudara yang dilahirkan di Madiun, 11 November 1993. Penulis menempuh pendidikan mulai dari taman kanak-kanak di RA PSM Sidomulyo, Kecamatan Wonoasri, Kabupaten Madiun, lalu melanjutkan sekolah dasar di SDN Sidomulyo 01, Wonoasri, Madiun. Kemudian penulis menempuh sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1

Wonoasri, Madiun dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Mejayan, Madiun. Pada tahun 2012 penulis diterima di Perguruan Tinggi Negeri Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur PMDK Tulis dengan pilihan Jurusan Teknik Geomatika. Semasa menjadi mahasiswa dari tahun pertama sampai tahun keempat penulis aktif dalam mengikuti dan menjadi bagian di organisasi intra kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Geomatika (HIMAGE-ITS) yaitu Kabirol Keilmiahan HIMAGE-ITS 2014/2015. Selain itu penulis juga aktif mengikuti pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD dan ajang Pekan Kreativitas Mahasiswa (PKM). Dalam menyelesaikan syarat Tugas Akhir, penulis memilih bidang keilmuan Geodinamika dan Lingkungan, dengan judul “Analisis *Land Subsidence* Menggunakan Teknik *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* (Studi Kasus: Kota Surabaya, 2009-2011)”.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”